

Aus dem Veterinär-Anatomischen Institut
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

**Der Verlauf und das Verzweigungsmuster ausgewählter Brust- und Lendennerven bei
der Katze der Rasse Europäisch Kurzhaar (EKH)**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)
durch die Veterinärmedizinische Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von
Nicole Röhrmann
aus Wolmirstedt

Leipzig, 2017

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Walter Brehm

Betreuer: Prof. Dr. Christoph K.W. Mülling

Gutachter: Prof. Dr. Christoph K.W. Mülling,
Veterinär-Anatomisches Institut, Universität Leipzig, Leipzig

Univ. Prof. Dr. Monika Egerbacher,
Institut für Anatomie, Histologie und Embryologie,
Veterinärmedizinische Universität Wien, Wien

Tag der Verteidigung: 17. Oktober 2017

In Dankbarkeit an meine Eltern, meinen Freund, meinen Freunden und den vierbeinigen
Gefährten, für Ihre Liebe und Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	2
2.1	Die Europäisch Kurzhaar	2
2.2	Anatomie der Katze im Rückenbereich	2
2.2.1	Die Wirbelsäule der Katze	2
2.2.1.1	Morphologischer Aufbau der Wirbelsäule	2
2.2.1.2	Morphologische Besonderheiten der Wirbelsäule bei Hund und Katze	4
2.2.2	Die epaxiale Stammuskulatur der Katze.....	6
2.2.3	Die Haut der Katze.....	7
2.2.4	Innervation der Haut der Katze am Truncus.....	9
2.2.4.1	Innervation der Haut der Katze in der Regio thoracalis	11
2.2.4.2	Innervation der Haut der Katze in der Regio lumbalis	12
2.2.5	Dermatome und Head'sche Zonen.....	14
2.3	Neuroanatomie in der Komplementären Veterinärmedizin.....	18
2.3.1	Die transkutane elektrische Nervenstimulation - TENS	18
2.3.2	Triggerpunkte.....	20
2.3.3	Neuraltherapie.....	22
2.3.4	Akupunktur	24
2.3.5	Manuelle Therapiemethoden	28
3	Tiere, Material, Methoden.....	30
3.1	Vorbereitung und Fixation der Tiere	30
3.2	Präparation und Erfassung der Messwerte.....	30
3.2.1	Ebene 1 – Haut.....	33
3.2.2	Ebene 2 – Faszie	34
3.2.3	Ebene 3 – Muskulatur	36
3.2.4	Ebene 4 – Foramina intervertebralia.....	38
3.3	Bestimmung der paramedianen Verschiebung	38
3.4	Ermittlung der Kaudalverschiebungsindizes	39

Inhaltsverzeichnis

3.5	Korrelation zwischen der Länge der Lendenwirbelsäule und den Kaudalverschiebungsindizes	41
3.6	Computertomografische Messungen	42
4	Ergebnisse	43
4.1	Charakteristik des Nervenverlaufs	43
4.1.1	Seitenvergleich und Symmetrie der Rami dorsales	43
4.1.2	Paramediane Verschiebung der Rami dorsales	50
4.2	Kaudalverschiebungsindizes ausgewählter Brust- und Lendennerven	55
4.2.1	Kaudalverschiebungsindizes für die linke Körperseite der einzelnen Katzen (KVI _l)	55
4.2.2	Kaudalverschiebungsindizes für die rechte Körperseite der einzelnen Katzen (KVI _r)	57
4.2.3	Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Tiere im Vergleich	58
4.2.4	Kaudalverschiebungsindex der einzelnen Rami dorsales (KVI _i)	60
4.3	Innervationsbereiche der lumbosakralen Haut	61
4.3.1	Innervationsbereiche der linken Körperseite	61
4.3.2	Innervationsbereiche der rechten Körperseite	63
4.4	Morphometrische Analyse der Lendenwirbelsäule	65
4.4.1	Korrelation der Länge der Lendenwirbelsäule mit den Kaudalverschiebungsindizes der Lendennerven L1 bis L7	65
4.4.2	Vergleich der Messmethoden der Wirbelsäulenlänge anhand computertomografischer Aufnahmen und einer Freihandmessung am Präparat	67
4.5	Nervenverlauf und Kaudalverschiebungsindizes der Katze 7	69
4.6	Vermessung der Brust- und Lendenwirbelsäule	71
5	Diskussion	75
5.1	Charakteristik des Nervenverlaufs	75
5.2	Kaudalverschiebungsindizes ausgewählter Brust- und Lendennerven	79
5.3	Innervationsbereiche der lumbosakralen Haut	81
5.4	Morphometrische Analyse der Lendenwirbelsäule	85
5.5	Nervenverlauf und Kaudalverschiebungsindizes der Katze 7	85
5.6	Vermessung der Brust- und Lendenwirbelsäule	86

Inhaltsverzeichnis

5.7	Fazit und Ausblick	86
6	Zusammenfassung	88
7	Summary	90
8	Literaturverzeichnis.....	92
9	Anhang	102
9.1	Fotodokumentation des Nervenverlaufs	102
9.1.1	Seitenvergleich und Symmetrie der Spinalnerven	102
9.1.2	Aufzweigung und Verlauf der Spinalnerven	117
9.2	Paramediane Verschiebung der Spinalnerven	119
9.3	Ergebnisse Kaudalverschiebungsindizes L7 bis Th9.....	120
9.3.1	Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Katzen (KVI _j)	120
9.3.2	Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Spinalnerven (KVI _i).....	123
10	Danksagung	125

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
BWS	Brustwirbelsäule
CT	Computertomografie
C1...8	Halsnerven 1 bis 8 (Nummerierung nach segmentalen Ursprung)
Co1...7	Schwanznerven 1 bis 7 (Nummerierung nach segmentalen Ursprung)
EKH	Europäisch Kurzhaar
Forr.	Foramina
K	Kreuzbeinbereich
Kap.	Kapitel
KVI	Kaudalverschiebungsindex
KVI _i	Kaudalverschiebungsindex der Spinalnerven
KVI _j	Kaudalverschiebungsindex der Tiere
KVI _i -F	Kaudalverschiebungsindex der Faszie für einen Nerven
KVI _j -F	Kaudalverschiebungsindex der Faszie für ein Tier
KVI _i -H	Kaudalverschiebungsindex der Haut für einen Nerven
KVI _i -H Max	weiteste KVI _i -H
KVI _i -H Min	geringste KVI _i -H
KVI _j -H	Kaudalverschiebungsindex der Haut für ein Tier
KVI _i -M	Kaudalverschiebungsindex der Muskulatur für einen Nerven
KVI _j -M	Kaudalverschiebungsindex der Muskulatur für ein Tier
L	Lendenbereich
L1...7	Lendennerven 1 bis 7 (Nummerierung nach segmentalen Ursprung)
LWS	Lendenwirbelsäule
L _w	Lendenwirbel
M.	Musculus
Mm.	Musculi
MTrP	myofaszialer Triggerpunkt
n	Anzahl
NAV	Nomina Anatomica Veterinaria
Proc.	Processus
Procc.	Processus
r	Korrelationskoeffizient
R ²	Bestimmtheitsmaß
R.	Ramus
Rr.	Rami
S1...4	Kreuzbeinnerven 1 bis 4 (Nummerierung nach segmentalen Ursprung)
S _w	Schwanzwirbel

Abkürzungsverzeichnis

Tab.	Tabelle
Th9...Th13	Brustnerven 9 bis 13 (Nummerierung nach segmentalen Ursprung)
TENS	Transkutane elektrische Nervenstimulation
TrP	Triggerpunkt

1 Einleitung

Die Europäische Kurzhaar (EKH) zählt zu den beliebtesten Katzenrassen in deutschen Haushalten. Da sie längst nicht mehr nur als nützliches Haustier, sondern auch als Begleiter und Therapietier dient, wird die medizinische Versorgung immer bedeutender.

Neben den klassischen schulmedizinischen Behandlungsmethoden wächst bei den Besitzern auch die Nachfrage an die Komplementäre Medizin. So werden oftmals nach chirurgischen Eingriffen bei Katzen physiotherapeutische Maßnahmen ergriffen. Weitere Behandlungsmethoden, wie die Verwendung von Geräten zur transkutanen elektrischen Nervenstimulation (TENS), Akupunktur oder Neuraltherapie finden bei Katzen ebenfalls Anwendung.

Neben verschiedenen viszeralen Krankheitsbildern sind Erkrankungen des Bewegungsapparates der Katze häufig. Dazu zählen traumatische, aber auch geriatrische Symptome im Bereich der Gliedmaßen, der Lendenwirbelsäule und des Beckens. Die therapeutischen Methoden werden dabei oft in der Regio thoracolumbalis angewendet. Sie ist leicht zugänglich und durch ihre weitreichende Innervation sowie Verschaltungen zu anderen Organsystemen sehr effektiv.

Verschiedene Therapiemethoden, wie z.B. Massagen, werden über segmental-reflektorische Abläufe vermittelt, bei denen Spinalnerven eine zentrale Rolle einnehmen. Deswegen sind Kenntnisse über deren Verlauf und Verzweigung für eine erfolgreiche Therapie von besonderem Interesse. Die Innervationsgebiete der Spinalnerven des Menschen und die sich daraus ergebenden Dermatome sind gut untersucht. Es gibt zudem Studien für Großtiere, wie dem Rind (EGERBACHER 1993, 1991, ARNOLD und KITCHELL 1957, SCHALLER 1956) und auch für Kleintiere, wie Hunde (BERNIGAU 2013, BAILEY et al. 1984). Für die Katze sind jedoch nur einzelne Nachweise und Untersuchungen zu dem Verlauf der lumbalen Spinalnerven vorhanden. Untersuchungen zur Nervensymmetrie oder einem bilateralen Vergleich fehlen gänzlich.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, den Verlauf der Rami dorsales der Nervi spinales bei der Katze im thorakolumbalen Bereich darzustellen. Besonderes Augenmerk lag auf der Betrachtung der symmetrischen Ausbildung der Nerven beider Körperseiten sowie dem Nervenverlauf der Katzen untereinander und vergleichend zum Hund.

Für diese Untersuchung standen folgende Fragen im Vordergrund:

- I. Wie sind der Verlauf und die symmetrische Verteilung der Rami dorsales der Nervi spinales im thorakolumbalen Bereich bei Katzen?
- II. Wie verhält sich die kaudale und paramediane Verschiebung der Rami dorsales bei Katzen?
- III. Gibt es wesentliche Unterschiede zwischen Katzen und Hunden im Verlauf der Nerven und deren Kaudalverschiebung?

2 Literaturübersicht

2.1 Die Europäisch Kurzhaar

Im Jahr 2015 gab es über 10,76 Millionen Haushalte in Deutschland mit mindestens einer Katze (STATISTA 2016). Die Europäisch Kurzhaar (EKH) gehört zu den beliebtesten Katzenrassen (DUPUIS 2013). Dadurch ist sie ein häufiger Patient in der tierärztlichen Praxis. Die EKH wird auch als Keltisch Kurzhaar bezeichnet und kann fast alle Fellfarbvarianten annehmen. Ursprünglich stammt diese Rasse von der Falbkatze und den hier beheimateten Wildkatzen ab. Sie entspricht unseren heutigen domestizierten Hauskatzen (RITTER 2017). Seit 1982 wird sie als eigenständige Rasse geführt (RITTER 2017, AGILA 2015).

2.2 Anatomie der Katze im Rückenbereich

Im Folgenden geht die Autorin nur auf die anatomischen Strukturen der Katze ein, die für die Bearbeitung des Themas relevant sind. Dazu gehören die Wirbelsäule, die epaxiale Stammmuskulatur, die Haut am Rumpf sowie deren nervale Versorgung.

2.2.1 Die Wirbelsäule der Katze

Der Aufbau der Wirbelsäule bei der EKH entspricht grundsätzlich demjenigen anderer Haussäugetiere. In der Literatur wird die Anzahl der Wirbel einheitlich beschrieben (SALOMON 2015b, NICKEL et al. 2003d). Die Katze besitzt sieben Halswirbel, 12 bis 13 Brustwirbel und sieben Lendenwirbel. Das Kreuzbein wird, wie bei dem Hund, aus drei synostotisch verbundenen Wirbelkörpern gebildet. Die Anzahl der Schwanzwirbel variiert zwischen 20 und 23 Stück (SALOMON 2015b, NICKEL et al. 2003d, KÖNIG 1992).

2.2.1.1 Morphologischer Aufbau der Wirbelsäule

Die einzelnen Wirbel ähneln sich in ihrem Grundaufbau (Abb. 2.1). Der Wirbelkörper, Corpus vertebrae, bildet die Grundlage und trägt dorsal den Wirbelbogen, Arcus vertebrae (SALOMON 2015b). Dieser sitzt auf zwei vertikal gerichteten Füßchen, den Pediculi arcus vertebrae. Durch sie entsteht das Wirbelloch, Foramen vertebrale, welches das Rückenmark umgibt (Abb. 2.1). Es verläuft im Wirbelkanal, Canalis vertebralis, der durch die aufeinanderfolgenden Foramina (Forr.) vertebralia gebildet wird (SALOMON 2015b). Das Rückenmark besitzt bei der Katze eine Länge von 310 bis 370 mm, wobei das kaudale Ende der Cauda equina zwischen dem fünften Lenden- und ersten Sakralwirbel zu finden ist (THOMAS und COMBS 1962).

Am Übergang vom Wirbelkörper zu den Pediculi arcus vertebrae befinden sich Einschnitte, die Incisurae vertebrales craniales et caudales (Abb. 2.1). Diese bilden zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wirbeln das Zwischenwirbelloch, Foramen intervertebrale

(SALOMON 2015b). Durch das Foramen intervertebrale treten die Spinalnerven aus und ziehen in Richtung ihrer Innervationsgebiete.

Dorsal tragen die Wirbel Dornfortsätze, Processus (Procc.) spinosi (Abb. 2.1). Sie sind im Bereich der Brustwirbelsäule (BWS) besonders lang und werden beim Fleischfresser von kranial nach kaudal zunehmend kürzer (NICKEL et al. 2003d). Im vorderen Thorakalbereich zeigen sie nach kaudal (SALOMON 2015b). Der vertikal gerichtete diaphragmatische Brustwirbel, Vertebra anticlinalis, bildet den Beginn des Ausrichtungswechsels der Dornfortsätze. Die nun folgenden Wirbel besitzen einen nach kranial weisenden Dornfortsatz. Im Bereich der Lendenwirbelsäule (LWS) sind die Dornfortsätze am stärksten und längsten in der mittleren Lendengegend ausgebildet (SALOMON 2015b). Ihre Länge nimmt bei der Katze bis zum vierten Lendenwirbel zu (NICKEL et al. 2003d). Die Procc. spinosi der Lendenwirbel besitzen eine kraniale Neigung (ASSHEUER und SAGER 1997). Eine Ausnahme stellen die Procc. spinosi des letzten oder der letzten beiden Lendenwirbel mit einer senkrechten Ausrichtung dar (NICKEL et al. 2003d).

Lateral trägt ein Wirbel die Querfortsätze, Procc. transversi (Abb. 2.1). Sie besitzen im thorakalen Abschnitt eine gelenkige Verbindung mit dem Rippenhöcker und sind kürzer als in der Lendenwirbelsäule (SALOMON 2015b, NICKEL et al. 2003d). Dort sind sie sehr lang und kranial gerichtet (SALOMON 2015b). Die Procc. transversi der Katze verjüngen sich in Richtung ihres freien Endes (NICKEL et al. 2003d).

Zur Artikulation untereinander besitzen die Wirbel Gelenkfortsätze, Procc. articulares craniales et caudales (Abb. 2.1). Sie bilden echte, ebene Gelenke, welche in erster Linie die Bewegungsrichtung der Wirbelsäule bestimmen (SALOMON 2015a). Die Gelenkfortsätze der Brustwirbelsäule haben eine horizontale Ausrichtung und erlauben Rotationsbewegungen. Im hinteren Abschnitt der Brust- und in der Lendenwirbelsäule bekommen sie eine vertikale Ausrichtung, welche vor allem Beuge- und Streckbewegungen ermöglichen (SALOMON 2015b). Zwischen den Wirbelkörpern sind faserknorpelige Zwischenwirbelscheiben, die Disci intervertebrales, ausgebildet. Sie liegen der kranialen Fläche eines Wirbelkörpers, der Extremitas cranialis, und der kaudalen Fläche, Extremitas caudalis, des vorhergehenden Wirbels direkt an. Zusammen bilden die Extremitas caudalis et cranialis und der Discus intervertebralis ein unechtes Gelenk, welches mit dem umliegenden Bandapparat den Bewegungsumfang der Wirbel gegeneinander limitiert (SALOMON 2015a, NICKEL et al. 2003d). Die Disci intervertebrales dienen als stoßdämpfende Puffer, die den Druck abfangen und umverteilen (NICKEL et al. 2003d).

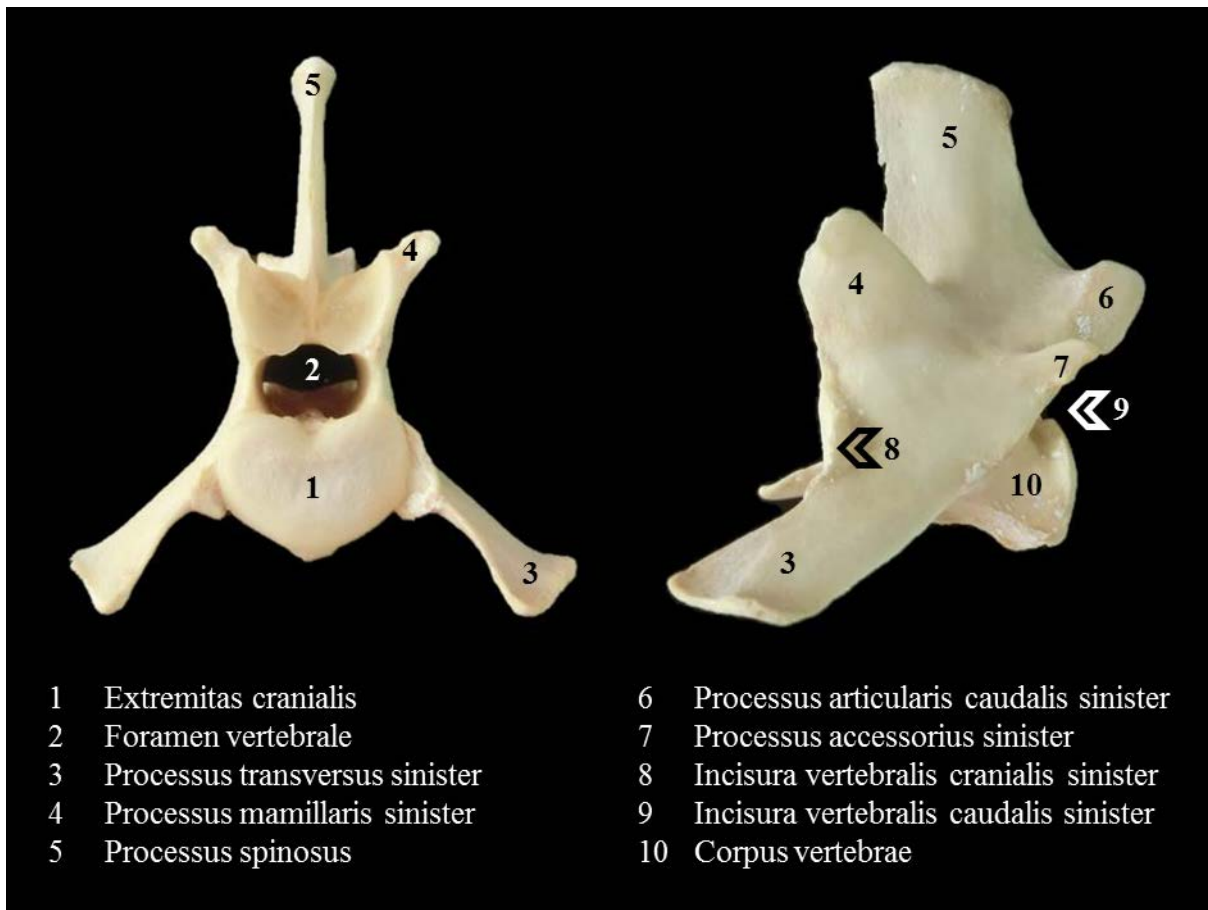


Abb. 2.1 Vorder- und Seitenansicht des dritten Lendenwirbels eines Hundes.

Zwischen den Querfortsätzen und kranialen Gelenkfortsätzen besitzen die Brust- und Lendenwirbel Zitzenfortsätze, Procc. mamillares (Abb. 2.1). Sie stehen in der vorderen Brustwirbelsäule isoliert (SALOMON 2015b). Im hinteren Abschnitt der Lendenwirbelsäule verbindet sich der Proc. articularis cranialis mit dem Proc. mamillaris zu dem Proc. articularis mamillaris (ASSHEUER und SAGER 1997). Zusätzlich sind beim Fleischfresser kaudal weisende Hilfsfortsätze, Procc. accessorii, im Bereich der hinteren Brust- und Lendenwirbelsäule ausgebildet (SALOMON 2015b) (Abb. 2.1).

2.2.1.2 Morphologische Besonderheiten der Wirbelsäule bei Hund und Katze

Zu den anatomischen Besonderheiten der Wirbelsäule gehören Übergangs- oder Assimilationswirbel. Diese besitzen den morphologischen Aufbau zweier angrenzender Wirbelsäulenregionen. Sie können in jedem Bereich der Wirbelsäule vorkommen. Es treten vermehrt zwei Arten auf, die Sakralisation und die Lumbarisation. Die Verbindung eines Lendenwirbels mit dem Kreuzbein wird als Sakralisation bezeichnet. Löst sich ein Kreuzwirbel aus dem Gefüge des Kreuzbeins, nennt man es Lumbarisation (PSCHYREMBEL 2014).

Meist sind Übergangswirbel klinisch unauffällig. Sie können aber in der Lenden- und Kreuzbeingegend Probleme bereiten. Es ist beschrieben, dass sie häufig beim Deutschen

Schäferhund im lumbosakralen Übergang vorkommen. Dies kann ein Cauda equina Syndrom bedingen oder zu Beckenfehlstellungen führen. Aufgrund der Veränderungen an der Wirbelsäule entstehen Instabilitäten und Lahmheiten in der Hintergliedmaße (SCHWARZ 2012).

Weiterhin ist es möglich, dass am ersten Lendenwirbel uni- oder bilateral Rippen ausgebildet sind. Diese können hyper- oder hypoplastisch als auch morphologisch normal entwickelt sein (MORGAN 1999).

Bei einer Sakralisation des siebten Lendenwirbels verbinden sich die Querfortsätze komplett oder nur teilweise mit dem Kreuzbein und den Darmbeinflügeln. KUSCH (1983) konnte solche Veränderungen am Skelett des Dackels nachweisen. Etwas häufiger war die Sakralisation des ersten Schwanzwirbels mit dem Kreuzbein. Neben den Übergangswirbeln stellte KUSCH (1983) auch einen überzähligen Lendenwirbel beim Dackel fest, der strukturell dem siebten Lendenwirbel ähnelte. KUSCH (1983) vermaß diesen und die anderen Lendenwirbel ventral am Corpus vertebrae. Es zeigte sich, dass er mit 1,4 cm der kürzeste verglichen mit den restlichen Lendenwirbeln war. Deren Körperlängen lagen im Mittel bei 1,6 cm für den ersten, 1,7 cm für den zweiten und dritten, 1,8 cm für den vierten und sechsten sowie 1,6 cm für den siebten Lendenwirbel. Für den fünften Lendenwirbel gab es Unterschiede zwischen Rau- und Langhaardackel mit 1,9 cm und 1,8 cm.

NEWITT et al. (2009, 2008) konnten in ihren Untersuchungen Übergangswirbel bei der Katze nachweisen. Im Gegensatz zum Hund zeigen diese meist keinen Zusammenhang mit klinischen Symptomen. Die Autoren stellten die Hypothese auf, dass das Risiko einer Hüftdysplasie oder Spondylose mit einem vorhandenen Assimilationswirbel ansteigt. Diese kongenitale Wirbelsäulenveränderung stellte sich am häufigsten als Sakralisation (64%, n = 9) des siebten Lendenwirbels dar. Die Procc. transversi des siebten Lendenwirbels unterlagen vielfacher Veränderungen. Es wurden auch Lumbarisationen (21%, n = 3) des ersten Kreuzbeinsegments gefunden. DAMUR-DJURIC et al. (2006) führen die unterschiedlichen Ausbildungen der Querfortsätze auf eine Berührung zwischen Becken und Wirbelsäule zurück.

In einer Studie von NEWITT et al. (2008) wurden drei Fälle einer um einen Wirbel verkürzten Lendenwirbelsäule bei Katzen beschrieben. Die sechs Lendenwirbel waren normal ausgebildet und das Sakrum bestand aus drei verschmolzenen Wirbeln. Auffällig waren die Procc. spinosi des Sakrums. Anstatt dreier kleiner Dornfortsätze war der erste sehr groß und von den anderen separiert. Obwohl dies auf eine vollständige Sakralisation des siebten Lendenwirbels hindeutete, konnten NEWITT et al. (2008) diese These nicht bestätigen. Der strukturelle Aufbau sowie die normal entwickelte Verbindung des Wirbels zum Kreuzbein sprachen gegen die Ausbildung eines Übergangswirbels.

2.2.2 Die epaxiale Stammuskulatur der Katze

Als autochthone Stammuskulatur werden die dorsolateral verlaufende epaxiale und die ventrolateral liegende hypaxiale Muskulatur zusammengefasst (Abb. 2.2).

Im weiteren Verlauf werden nur die epaxialen Muskeln behandelt. Deren genauer Ansatz und Ursprung sind für die Untersuchungen dieser Studie nicht relevant und werden nicht näher besprochen.

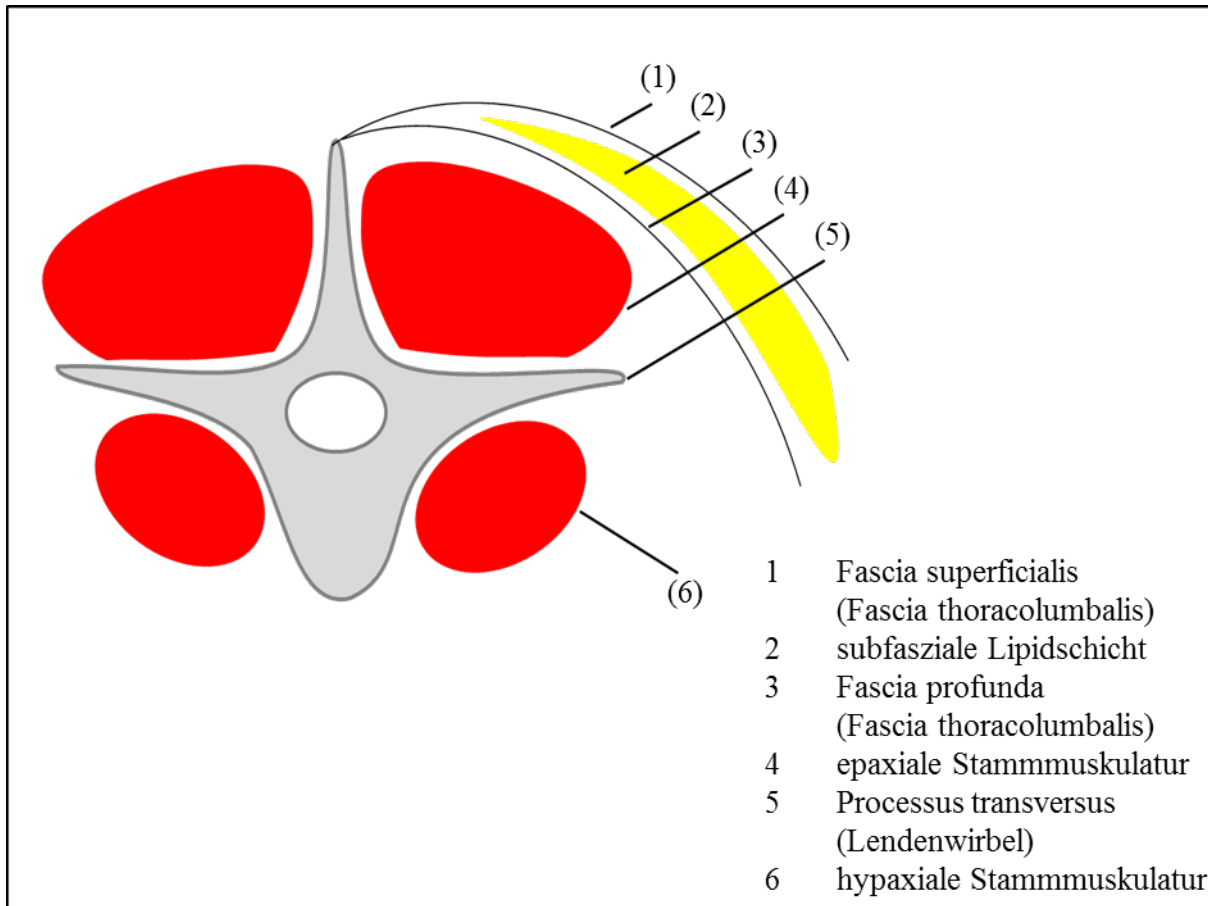


Abb. 2.2 Schematische Darstellung der Stammuskulatur in der Lendenwirbelsäule.

Die epaxiale Muskulatur unterteilt sich in lange und kurze Muskeln. Entsprechend ihrer jeweiligen Lage werden die langen Rückenmuskeln auch in einzelne Abschnitte, wie Lenden-, Brust-, Hals- und Kopfteil, gegliedert. Zu der langen Rückenmuskulatur gehört der M. iliocostalis, welcher zwischen dem letzten Hals- und den Lendenwirbeln verläuft und seinen Ursprung an den Darmbeinflügeln hat. Je nach Literatur ist er bei der Katze ein eigenständiger Muskel (SALOMON 2015c, KÖNIG 1992) oder mit dem M. longissimus lumborum im kaudalen Abschnitt verschmolzen (SEIFERLE und FREWEIN 2003). Durch seine laterale Lage wird er auch als Lateralstrang bezeichnet (SALOMON 2015c). Der M. longissimus zählt ebenfalls zur langen Rückenmuskulatur und ist der längste Muskel des Körpers. Aufgrund seiner Position zwischen dem M. iliocostalis und dem Transversospinalen System wird er als Mittelstrang bezeichnet. Das Transversospinale System umfasst einige lange und kurze Muskeln, welche gemeinsam den Medialstrang der

epaxialen Stammmuskulatur bilden. Zu den langen Muskeln des Medialstrang gehören der M. spinalis und der weiter kranial gelegene M. semispinalis (SALOMON 2015c). Sie bilden eine funktionelle Einheit und werden dadurch beim Fleischfresser als M. spinalis et semispinalis zusammengefasst (SALOMON 2015b, SEIFERLE und FREWEIN 2003). Weiterhin zählen die Musculi (Mm.) multifidi und der M. splenius zu den langen Muskeln im medialen System (LIEBICH et al. 2015, SEIFERLE und FREWEIN 2003). Die kurzen Rückenmuskeln liegen vor allem direkt an oder zwischen den Wirbeln (Abb. 2.3). Dazu gehören die Mm. rotatores, die Mm. intertransversarii und die Mm. interspinales (SEIFERLE und FREWEIN 2003).

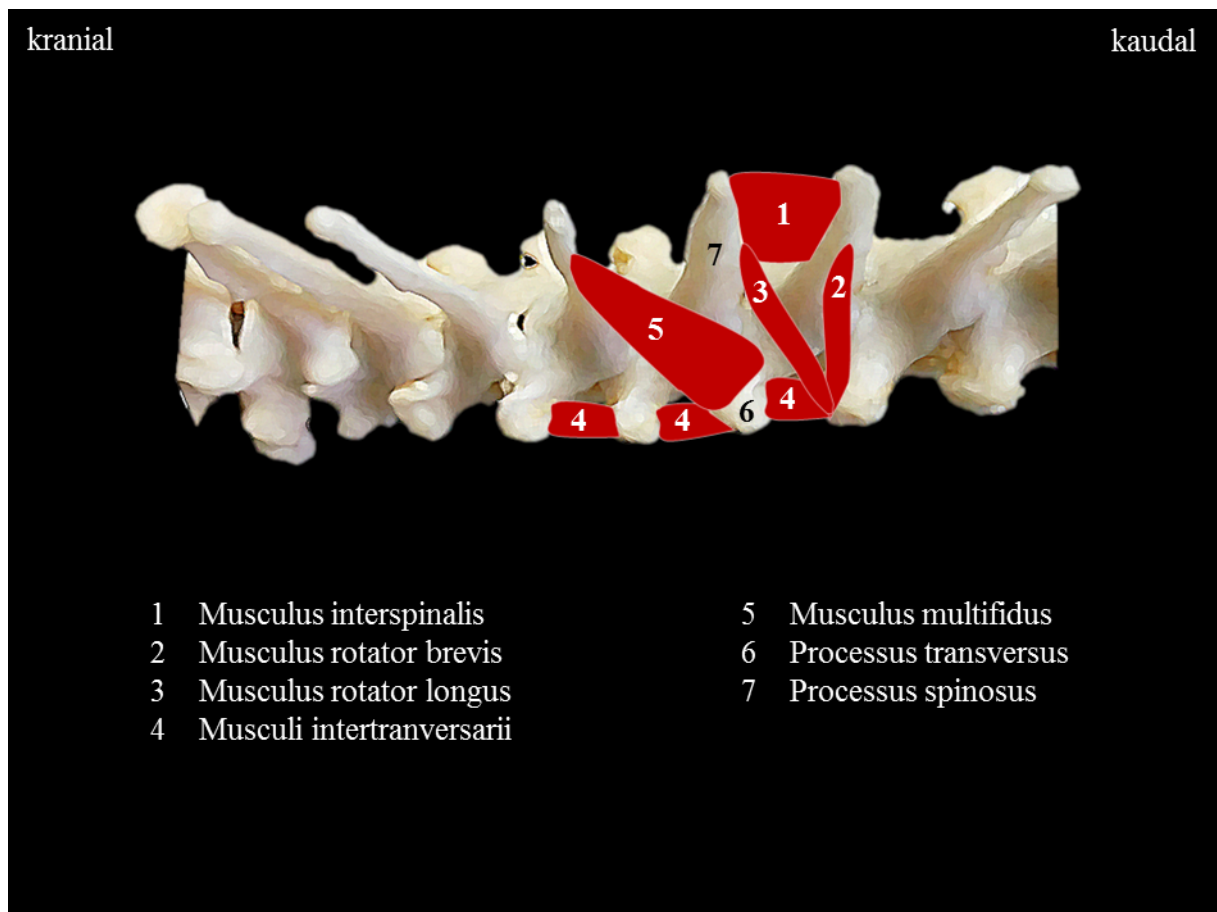


Abb. 2.3 Schematische Darstellung des Transversospinalen Systems (anteilig) im Bereich der Brustwirbelsäule der Katze. Ansicht von dorsolateral

2.2.3 Die Haut der Katze

Die äußere Haut wird in eine Oberhaut (Epidermis), eine Lederhaut (Dermis oder Korium) und in eine Unterhaut (Subkutis oder Hypodermis) eingeteilt. Die Epidermis und Dermis bilden im anatomischen Sinne die eigentliche Haut, die Kutis (SOBOTTA und WELSCH 2006).

Die Haut der Katze besitzt eine Schichtdicke von 375 bis 1900 µm. Sie ist im Nacken-, Lenden- und Kreuzbereich am stärksten ausgebildet (STRICKLAND et al. 1963). Der Rumpfbereich der Katze ist vollständig von behaarter Haut bedeckt.

Die Epidermis wird in vier Schichten unterteilt. Bei einer Betrachtung der superfiziellen in Richtung der profunden Schichten handelt es sich bei der ersten um das Stratum corneum. Dieses besteht aus verhornten Zellen und ist bei der Katze zwischen 3 bis 20 µm dick (STRICKLAND et al. 1963). Es liegt dem Stratum granulosum, der Körnerschicht, direkt auf. Sie besteht meist aus ein bis zwei Zelllagen (STRICKLAND et al. 1963). Nach HABERMEHL (2004) fehlt der Katze jedoch diese Zellschicht. Unter dem Stratum granulosum folgt die Stachelzellschicht, das Stratum spinosum. Diese Schicht besteht aus bis zu zwei Zelllagen (STRICKLAND et al. 1963). Hier verbinden viele Zellfortsätze die Zellen der benachbarten Schichten miteinander, mitunter auch die aus kubischen Keratinozyten bestehende Basalzellschicht, das Stratum basale. Das einschichtige Epithel ist senkrecht zur Epidermis ausgerichtet und weist Mitosefiguren auf (SOBOTTA und WELSCH 2006, STRICKLAND et al. 1963). Die Epidermis der behaarten Haut der Katze ist mit einer Dicke von 12 bis 45 µm im Allgemeinen dünner als die des Hundes (STRICKLAND et al. 1963). Nach LOVELL und GETTY (1957) misst die Epidermisdicke beim Hund 30 bis 40 µm.

Die obere Schicht der Dermis, das Stratum papillare, bildet Papillarleisten aus und verzahnt sich mit der Epidermis. Diese Papillarzellschicht besteht aus lockerem Bindegewebe mit feinen parallel verlaufenden kollagenen und elastischen Fasern. Letztere bilden ein feines elastisches Netzwerk aus (STRICKLAND et al. 1963). Am epidermalen Übergang bildet sie eine Basalmembran aus Retikulinfasern (HABERMEHL 2004). Das tiefer liegende Stratum reticulare bildet einen festen Bindegewebsstock aus elastischen und irregulären kollagenen Fasern. Diese sind dreimal stärker ausgebildet als im Stratum papillare (STRICKLAND et al. 1963). Sie umgeben die Haarfollikel und verlieren sich dann am Übergang zum Fettgewebe der Subkutis (SOBOTTA und WELSCH 2006, STRICKLAND et al. 1963).

Die Subkutis besteht aus Fettgewebe, dem Stratum adiposum, welches unterhalb der Dermis liegt und durch Bindegewebszüge eine läppchenartige Struktur erhält (SOBOTTA und WELSCH 2006). Es handelt sich um Depotfett, das beim Fleischfresser vor allem am Bauch und Rücken ausgebildet ist. Darunter liegt das Stratum fibrosum aus grobfaserigem Bindegewebe. Es verbindet sich mit der Fascia superficialis der Fascia thoracolumbalis (GEYER 2015). HABERMEHL (2004) vermutet, dass es sich um dieselbe Struktur handelt. Die Fascia superficialis enthält am Stamm den Hautmuskel, M. cutaneus trunci (GEYER 2015, HABERMEHL 2004). An diesen Stellen ist die Subkutis fester gebunden, um Bewegungen des Hautmuskels besser zu übertragen (GEYER 2015). Zudem ist eine physiologische Fettschicht zwischen der Fascia superficialis und Fascia profunda der Fascia thoracolumbalis ausgebildet (siehe Abb. 2.2). Dadurch wird die Verschieblichkeit der Haut, des Hautmuskels und der oberflächlichen Faszie gegenüber den tieferen Schichten sichergestellt (SEIFERLE und FREWEIN 2003, KÖNIG 1992). In dieser Schicht verlaufen die Lymph- und Blutgefäße zur Versorgung sowie die Nerven zur Innervation der Dermis und Epidermis (SOBOTTA und WELSCH 2006).

2.2.4 Innervation der Haut der Katze am Truncus

Die Haut am Rumpf wird vorwiegend von den Hautästen der Spinalnerven versorgt. Die Anzahl der Spinalnerven am Rumpf entspricht der Anzahl der Brust- und Lendenwirbel (NICKEL et al. 2003a). Mehrere aus dem Rückenmark hervortretende Nervenfasern, Fila radicularia, bilden in ihrer Summe die dorsalen und ventralen Spinalnervenzwurzeln, die Radices dorsales et ventrales (STOFFEL 2011). Die Anzahl der Nervenfasern kann von Spinalnerv zu Spinalnerv variieren. In einer Untersuchung von KUHN (1953) bei der Katze bildeten zwischen sechs und zehn Fasern den Lendennerv L6. Der Nerv L7 hingegen besaß nur sieben Nervenfasern.

Die Radix dorsalis führt sensible Afferenzen, deren Zellkörper im Spinalganglion liegen. In der Radix ventralis verlaufen Efferenzen, welche motorische und vegetative Fasern führen. Beide Nervenzwurzeln verbinden sich in der Nähe des Foramen intervertebrale zum gemeinsamen Spinalnervstamm, dem Truncus nervi spinalis (kein NAV-Terminus) (SALOMON 2015d, STOFFEL 2011).

Bis zum Austritt durch das Foramen intervertebrale verlaufen die hinteren Nervenzwurzelpaare bereits innerhalb der Dura mater meist schräg kaudal (SALOMON 2015d, NICKEL et al. 2003b). Bei der Katze zeigt sich dieser Verlauf in unterschiedlicher Ausprägung ab dem Halsnerv C7 bis zur Cauda equina (SCHÜRMANN 1951). Beim Hund hingegen wird der schräge Verlauf durch einen transversalen Richtungswechsel am thorakolumbalen Übergang (Th12 bis L2) unterbrochen, um danach den ursprünglichen Weg bis zur Cauda equina wieder einzunehmen (THIEL 1941).

Nach dem Durchtritt des Spinalnervstamms durch das Foramen intervertebrale teilt sich dieser in vier Äste. Es entstehen ein Ramus meningeus und ein Ramus communicans albus. Darüber hinaus verzweigt sich der Spinalnervstamm in den Ramus dorsalis und den Ramus ventralis (NICKEL et al. 2003a) (Abb. 2.4. und Abb. 2.5).

Der Ramus meningeus zieht durch das Foramen intervertebrale zurück, um unter anderem die Dura mater zu versorgen. In dem Ramus communicans albus verlaufen die präganglionären sympathischen Fasern zum Grenzstrang, dem Truncus sympathicus, im Brust- und Lendenbereich (SALOMON 2015d) (Abb. 2.4 und Abb. 2.5).

Der Ramus ventralis bildet Abzweige, welche die hypaxiale Stammmuskulatur, die laterale und ventrale Körperwand sowie die darüber liegende Haut innervieren (SALOMON 2015e). Das Innervationsgebiet umfasst die ventrale Hälfte der Körperwand beim Hund (BAILEY et al. 1984). Der Ramus dorsalis bildet zum einen den Ramus medialis, für die Versorgung der epaxialen Stammmuskulatur und zum anderen den Ramus lateralis (Abb. 2.4 und Abb. 2.5). Dieser zieht weiter und bildet einen Ramus cutaneus medialis und Ramus cutaneus lateralis (SALOMON 2015e). SCHALLER (1956) schildert die Aufteilung des Ramus lateralis in die beiden Hautäste kurz vor bzw. nach dem Durchtritt des Nerven durch die Fascia thoracolumbalis. Der Ramus cutaneus medialis innerviert die Haut über der

epaxialen Stammuskulatur. Der Ramus cutaneus lateralis zieht ventral bis zur Mitte des Rumpfes und versorgt bis dahin die Haut der dorsalen Körperwand (BAILEY et al. 1984). KENNEDY et al. (2001) beschreiben sensible feine Hautäste mit Perikaryen in den Spinalganglien, welche durch die Dermis treten und dort einen subepidermalen Plexus bilden. Vereinzelt ziehen sie durch die Basalmembran der Epidermis bis dicht an das Stratum corneum heran.

Bereits KUNTZ und HAMILTON (1938) konnten afferente Fasern innerhalb der tieferen epidermalen Schichten und dem Korium nachweisen. Des Weiteren gibt es eine Verbindung zu kleineren Blutgefäßen und deren Kapillaren im Stratum papillare. Epidermale Nervenfasern sind die längsten Nerven des Körpers und besitzen dadurch ein großes Risiko längenbedingter Neuropathien (KENNEDY et al. 2001). Die Hautäste laufen oft zusammen mit einer Venole und Arteriole und werden als Gefäß-Nervenbündel zusammengefasst. Sie ziehen gemeinsam durch Muskulatur und Faszien bis zum Eintritt in die Unterhaut (DRAEHMPAEHL et al. 1993, EGERBACHER 1993, 1991, HEINE 1988).

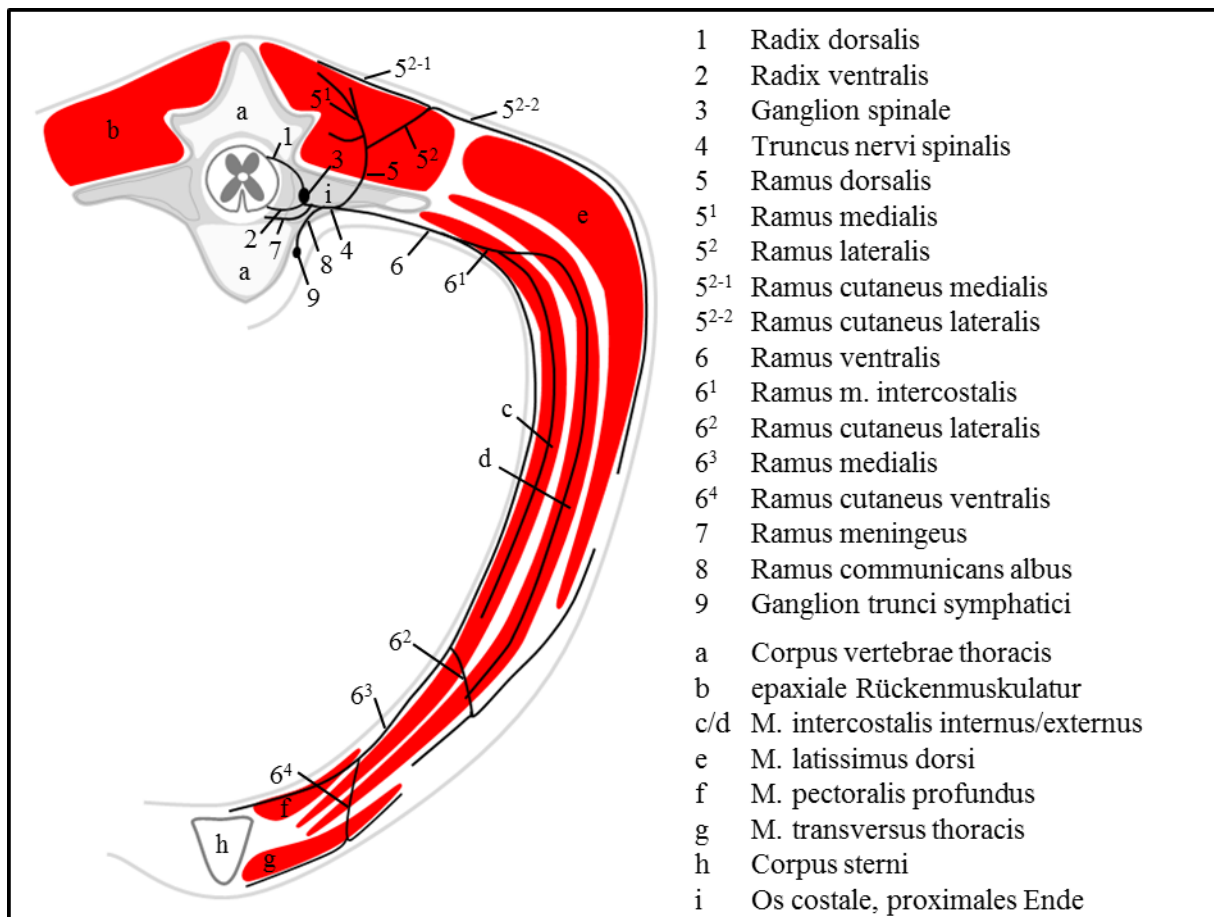


Abb. 2.4 Schematische Darstellung eines Nervus thoracicus modifiziert nach NICKEL et al. (2003a).

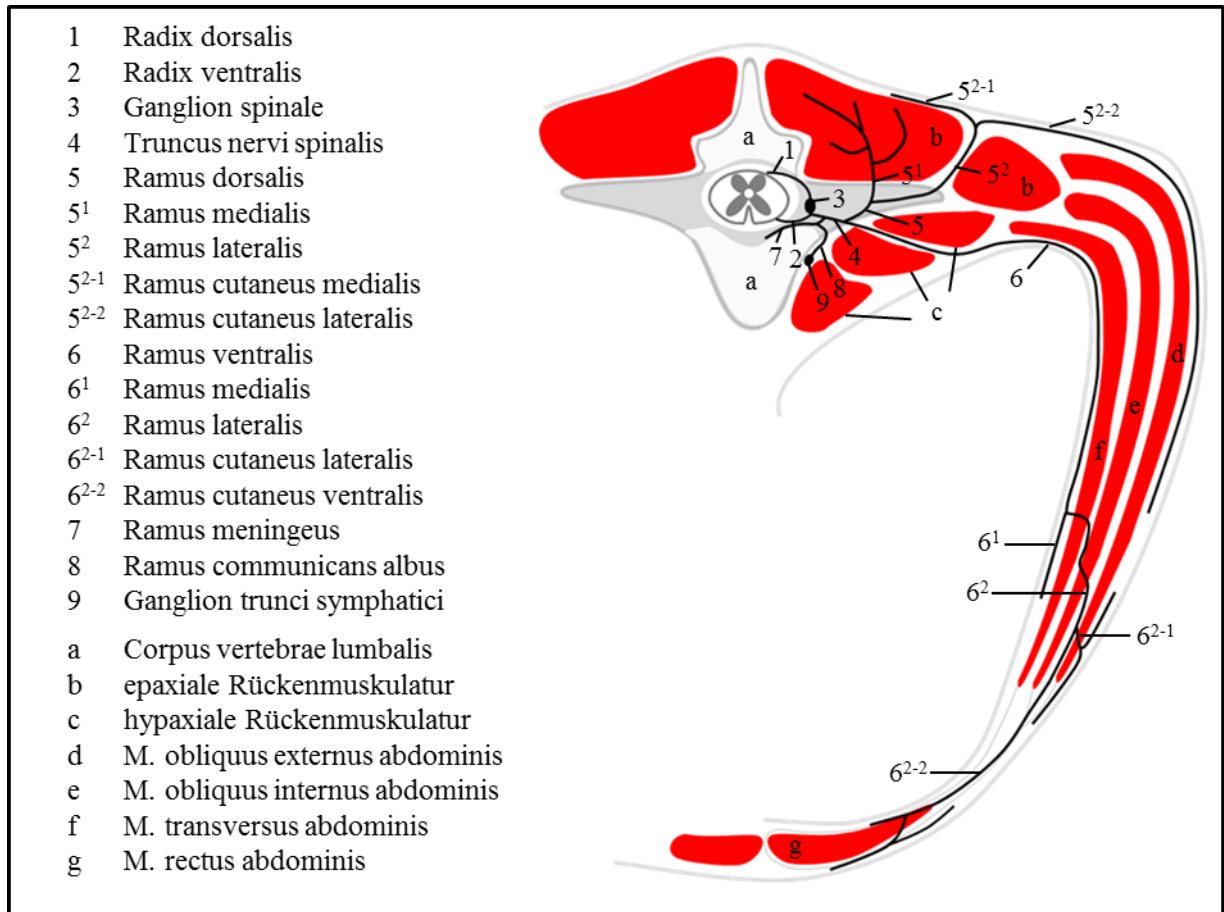


Abb. 2.5 Schematische Darstellung eines Nervus lumbalis modifiziert nach NICKEL et al. (2003a).

2.2.4.1 Innervation der Haut der Katze in der Regio thoracalis

Bei der Katze sind im thorakalen Bereich, abhängig von der Anzahl der Rippen, zwischen 12 und 13 Spinalnerven ausgebildet (NICKEL et al. 2003a, KOCH und BERG 1993). Sie sind schwächer entwickelt als die Halsnerven (NICKEL et al. 2003a). Die Rami mediales der Rami dorsales innervieren die kurzen und langen Rückenmuskeln motorisch (NICKEL et al. 2003a, KOCH und BERG 1993). Sie führen zum Teil sensible Fasern, die sie dann an die sensiblen Rami laterales abgeben (KOCH und BERG 1993). Die Rami laterales ziehen an die Hautoberfläche der Rumpfwand. Im kranialen Brustbereich werden die Rami laterales durch das Schulterblatt abgedrängt und verlaufen dadurch in Richtung der Dornfortsätze (NICKEL et al. 2003a, KOCH und BERG 1993). Sie innervieren die Haut dorsal der Skapula und des Widerrists. Kaudal des Schulterblatts ziehen die Rami laterales zwischen den Mm. longissimus thoracis und iliocostalis an die Körperoberfläche (NICKEL et al. 2003a). Dort verzweigen sie sich in den feineren Ramus cutaneus medialis und den kräftigeren Ramus cutaneus lateralis (Abb. 2.4). Der Ramus cutaneus medialis nimmt einen aufsteigenden dorsalen Verlauf. Die Rami cutanei laterales ziehen in kaudoventraler Richtung an die laterale Brust- und Bauchwand. Ihr Innervationsgebiet erstreckt sich weit kaudal auf die seitliche Rumpfwand (NICKEL et al. 2003a). Die Rami ventrales bilden die

Nervi intercostales, welche mit ihren motorischen Anteilen die Muskulatur des Zwischenrippenraums und der Bauchwand versorgen (KOCH und BERG 1993, DYCE et al. 1991) (Abb. 2.4). Auch sie teilen sich in einen Ramus lateralis und medialis. Der Ramus lateralis versorgt als Ramus cutaneus lateralis, bis auf einen handbreiten ventralen Streifen neben der Medianen, die Haut der seitlichen Bauchwand. Er verbindet sich zudem mit den Nervi pectorales und dem Nervus thoracicus lateralis zur Innervation der Mm. pectorales und dem M. cutaneus trunci (NICKEL et al. 2003a, KOCH und BERG 1993). Der mediale Ast entsendet neben motorischen Fasern für die Muskulatur einen Ramus cutaneus ventralis. Dieser versorgt die Haut lateral und ventral des Brustbeines (NICKEL et al. 2003a).

2.2.4.2 Innervation der Haut der Katze in der Regio lumbalis

Bei der Katze sind sieben Lendennerven ausgebildet. Die ersten zwei bis drei sind eher dünn, wie es bei den Brustnerven der Fall ist. Die darauffolgenden Lendennerven werden stärker (NICKEL et al. 2003a). Im Gegensatz zu den Brustnerven zweigen sich bei der Katze die Dorsaläste der Lendennerven L1 bis L6 in einen Ramus medialis, intermedius und lateralis auf. Der siebente Lendennerv zeigt jedoch nur eine Aufteilung in einen Ramus medialis und intermedius (NICKEL et al. 2003a). KÖNIG et al. (2015) beschreiben dagegen eine Aufzweigung in einen Ramus medialis und Ramus lateralis bei allen Lendennerven (Abb. 2.5). BOGDUK (1976) konnte in seiner Untersuchung eine Aufteilung der Rami dorsales in drei Äste bei 28 von 36 Katzen für die Lendennerven L1 bis L5 bestätigen. Bei den restlichen acht Tieren zweigten sie sich in einen Ramus medialis und Ramus lateralis auf.

Der Ramus medialis des jeweiligen Lendennerven zieht zur Innervation an die Mm. multifidi und die Mm. intertransversarii lumborum (NICKEL et al. 2003a). BOGDUK (1976) bestätigte die Innervation der Mm. intertransversarii lumborum durch den Ramus medialis bei der Katze. Für die Mm. multifidi war dies nicht nachweisbar. Der Ramus intermedius versorgt den M. longissimus lumborum. Die Rami laterales verlaufen zwischen dem M. longissimus lumborum und dem M. iliocostalis lumborum hindurch zur Haut, dabei geben sie ebenfalls Nerven an letzteren ab (NICKEL et al. 2003a, BOGDUK 1976).

In einer Untersuchung von BERNIGAU (2013) an 12 Hunden wurde nachgewiesen, dass die Rami dorsales den M. longissimus lumborum und den M. iliocostalis lumborum innervierten, jedoch nur den M. iliocostalis lumborum durchzogen. Zudem konnte BERNIGAU (2013) Anastomosen nach Durchtritt durch die Muskulatur zwischen den einzelnen Rami dorsales bei einem Hund feststellen. Bei zwei weiteren Hunden stellten sich die Rami dorsales der Lendennerven L5 und L6 ohne Hautast oder als Nervenstümpfe im Bereich der Rückenmuskulatur dar.

ARNOLD und KITCHELL (1957) beschrieben für den Verlauf der Lendennerven eine kaudoverbrale Richtung, die auch beim Hund beobachtet wurde. BERNIGAU (2013)

beschäftigte sich ebenfalls mit der Verlaufsrichtung der Rami dorsales und entwickelte diesbezüglich einen Kaudalverschiebungsindex (KVI) der Lendennerven; siehe Kap. 3.4.

Im Lendenbereich teilen sich die Rami laterales wie im Brustabschnitt in die Rami cutanei mediales und laterales (NICKEL et al. 2003a) (Abb. 2.5 und Abb. 2.6). Sie perforieren die Fascia thoracolumbalis auf ihrem Weg zur Haut (BERNIGAU 2013, BAILEY et al. 1984, BOGDUK 1976) (Abb. 2.6).

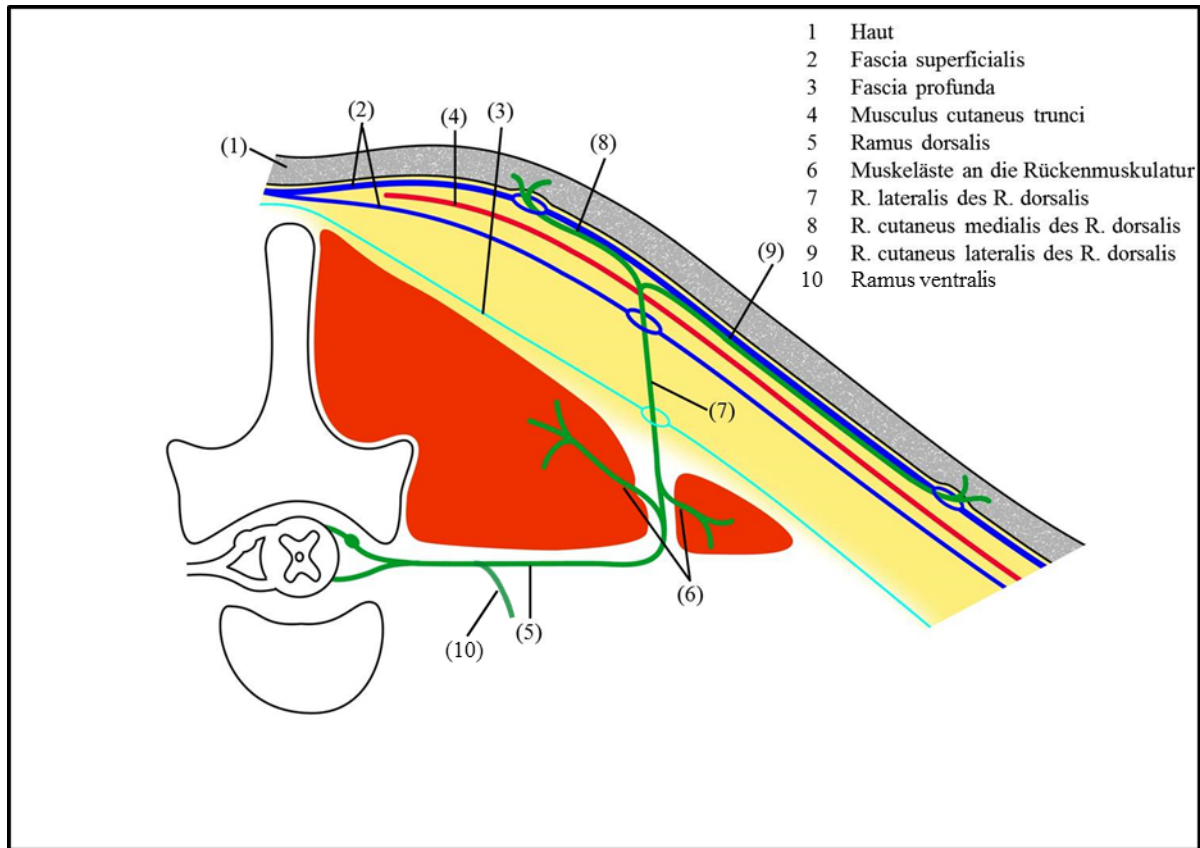


Abb. 2.6 Schematische Darstellung der Innervation durch den Ramus dorsalis in der Regio lumbalis im Querschnitt modifiziert nach BERNIGAU (2013).

Verschiedene Studien zeigten, dass es für die einzelnen Rami laterales der Rami dorsales Unterschiede in ihrem Verlauf und ihren Aufzweigungen gab. MAIGNE et al. (1989) konnten keine Rami cutanei laterales und mediales des Ramus lateralis der Lendennerven L4 und L5 beim Menschen nachweisen. Für den Hund wird ein generelles Fehlen der Rami cutanei mediales und laterales für die Lendennerven L4 bis L7 beschrieben (SALOMON 2015e). STOFFEL (2011) berichtet hingegen, dass nur der Ramus lateralis des Lendennerven L7 meist nicht bis in die Haut reicht. BAILEY et al. (1984) wiesen nach, dass ein Ramus lateralis des Ramus dorsalis für den Lendennerven L4 beim Hund häufig fehlte. In der Arbeit von BERNIGAU (2013) ließen sich die Rami cutanei mediales und laterales der Rami laterales beim Hund nur für die Lendennerven L1 bis L5 darstellen. Für die Katze sind nur wenige Untersuchungen bekannt, die sich mit den Rami dorsales und ihrem Verlauf im Brust- und Lendenbereich beschäftigen. In einer Studie von BOGDUK (1976) fehlte den untersuchten

Katzen der Ramus lateralis des Lendennerven L7 vollständig. Der Lendennerv L6 besaß ebenfalls nur einen Ramus medialis und keine Rami cutanei mediales und laterales.

Die Rami ventrales von L3/L4 bis L7 beteiligen sich an der Bildung des Plexus lumbalis (SALOMON 2015d, STOFFEL 2011). Zusammen mit dem Plexus sacralis bildet er den Plexus lumbosacralis. Dieser innerviert die Muskulatur der Hintergliedmaße, von Teilen der Bauchwand und des Beckens sowie der dazugehörigen Hautbereiche (SALOMON 2015d, NICKEL et al. 2003a). Die Rami ventrales von L1 bis L3 verhalten sich wie die Brustnerven und bilden eine Ramus medialis und lateralis (NICKEL et al. 2003a) (Abb. 2.5). Diese geben ebenfalls Äste an die Muskulatur sowie seitliche und ventrale Bauchwand ab.

2.2.5 Dermatome und Head'sche Zonen

Um Dermatome und deren nervale Versorgung darzustellen, ist ein kurzer Einblick in die embryonale und fetale Entwicklung erforderlich.

Die spezifische Anordnung von Keimbezirken während der Keimblattbildung legt Grundregeln für die Entwicklung des Embryos fest. Dabei werden unter anderem die Körperachse und -symmetrie des Embryos determiniert (MICHEL 1995).

Während des embryonalen Wachstums entstehen aus einem Teil des mittleren Keimblatts, dem paraxialen Mesoderm, die Ursegmente, die Somiten. Diese differenzieren sich jeweils in drei Anteile. Aus dem ventromedialen Abschnitt entsteht das Sklerotom. Der dorsolaterale Anteil entwickelt sich zu dem Dermatomyotom, welches Vorläuferzellen für das Myotom und Dermatome besitzt. Es folgt eine weitere Aufteilung. Dabei bilden sich aus den medialen Anteilen des Dermatomyotoms das Myotom und aus dem dorsolateralen Anteil das Dermatome (VEJLSTAD 2010). Das Dermatome wird über einen Spinalnerven mit afferenten Fasern aus der Radix dorsalis versorgt (SALOMON 2015d, WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009). NICKEL et al. (2003a) sagen aus, dass ein Dermatome sogar von mehr als einem Spinalnerven versorgt werden kann.

Über eine anatomische Präparation können sogenannte „subkutane Dermatome“ dargestellt werden (WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009). Dabei wird ein Spinalnerv bis zu seinem Eintritt in die Subkutis verfolgt (WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009, ELZE 1961). Makroskopisch ist jedoch die Nachverfolgbarkeit des Spinalnerven limitiert und der Nervenverlauf innerhalb der Hautschichten nicht darstellbar (ELZE 1961). Deshalb werden sie als „subkutane Dermatome“ (WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009) bzw. „Unterhautgebiete der Hautnerven“ bezeichnet (ELZE 1961).

Klinische Untersuchungen hingegen zeigen Dermatome an der Hautoberfläche (Epidermis) (WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009). Diese entsprechen den eigentlichen Dermatomen, welche ihr gesamtes Ausdehnungsgebiet an der Hautoberfläche zeigen (ELZE 1961). Diese „epidermalen Dermatome“ sind mit den „subkutanen Dermatomen“ jedoch meist nicht deckungsgleich. Das führt häufig zu sehr unterschiedlichen Kartografien von Dermatomen (WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009).

Im Gegensatz zu einem Dermatome erhält ein Myotom seine Innervation durch efferente Fasern einer Radix ventralis. Da einzelne Muskeln sich aus einem Verband mehrerer Myotome zusammensetzen, besteht ihre Innervation aus mehreren Nervi spinales (SALOMON 2015e, WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009). Eine Ausnahme bilden die kurzen Rückenmuskeln, z.B. die Mm. rotatores, sie entsprechen den ursprünglichen segmentbezogenen Myotomen (HANSEN und SCHLIACK 1957); siehe Kap. 2.2.2.

Durch die embryonal entstandene Verbindung ergibt sich ein funktioneller Zusammenhang, welcher als Metamer bezeichnet wird (VAN CRANENBURGH 1990, ZOHMANN 1989). Efferenzen eines Spinalnerven versorgen die metameren Anteile eines Ursegments (ZOHMANN 1989). Sie begleiten die einzelnen Anteile auf ihrem Weg der Entwicklung und bleiben lebenslang erhalten (VEJLSTAD 2010, VAN CRANENBURGH 1990). Diese bestehende Verbindung zwischen den metameren Anteilen wird auch Segmentalreflektorik genannt (KASPER 2011b, ZOHMANN 1989).

Der Spinalnerv definiert das Segment und stellt damit eine synchron reagierende, funktionelle Einheit her (NICKEL et al. 2003a). Bei einem adulten Tier geht die segmentale Zugehörigkeit von Myotomen und Sklerotomen aufgrund des Wachstums zum Teil verloren. Für die Innervation der Haut bleibt sie gut ersichtlich, daher ist es möglich, Dermatome für diagnostische (STOFFEL 2011, NICKEL et al. 2003a), z.B. Hautfaltenpalpation nach Kibler (KASPER 2011c), und therapeutische Zwecke (STOFFEL 2011, NICKEL et al. 2003a), wie Massagen oder TENS-Anwendungen (KASPER 2011b), heranzuziehen. Weiterhin wird es für die Interpretation des übertragenen Schmerzes („referred pain“) genutzt. Dies gilt vor allem in Zusammenhang mit Schmerzen innerer Organe, die bis in die Hautoberfläche ausstrahlen (WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009, NICKEL et al. 2003a). Ihre viszerale Afferenzen werden mit denen der Haut im gleichen Neuron auf Rückenmarksebene verschaltet. Dieses Neuron projiziert den Schmerz aus dem nicht genau lokalisierbaren Organ in einen bekannten, abgrenzbaren Hautbereich (NICKEL et al. 2003c). Dieses Hautareal wird als Head'sche Zone bezeichnet (WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009). Sir Henry Head (1861-1940) war ein englischer Neurologe, der sich in seiner Doktorarbeit 1898 mit „*Sensibilitätsstörungen der Haut bei Visceralerkrankungen*“ beschäftigt. Durch diese Arbeit wurde der Begriff Head'sche Zone geprägt.

Anders als bei einem Dermatome zeigen die Head'schen Zonen keine Überlappung (ELZE 1961). Sie stellen eine Zone innerhalb eines Dermatoms dar (WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009). Daraus lässt sich ableiten, dass eine Head'sche Zone ein Teil des Dermatoms ist, welcher aufgrund des übertragenen (inneren) Schmerzes empfindlicher reagiert als die angrenzenden Hautbereiche (ANTWERPES et al. 2015, SALOMON 2015d). Es untermauert die These von ELZE (1957), eine Head'sche Zone könnte sich innerhalb der Verlaufsrichtung eines Spinalnerven befinden. Dennoch ist eine Head'sche Zone nicht gleichbedeutend mit einem Dermatome. ELZE (1957) beschrieb eine Head'sche Zone als einen funktionellen Begriff. Sie ist nur im Zusammenhang mit viszeralen Erkrankungen

anzutreffen. VAN CRANENBURGH (1990) nennt die durch segmentale Innervation entstandene Beziehung ein „fundamentales Prinzip“, durch das sich ein segmentales, lokales Problem überall in dem dazugehörigen Segment äußern kann.

Ein Dermatome im Rückenbereich wird vor allem durch den Ramus dorsalis eines Spinalnerven und dessen Hautäste versorgt. Sie sind beim Menschen gut untersucht. Auch bei Großtieren, wie zum Beispiel dem Rind, wurden Dermatome der Rumpfwand untersucht (ARNOLD und KITCHELL 1957, SCHALLER 1956). Beim Hund existieren ebenfalls mehrere Studien über Lage und Verteilung der Dermatome. BAILEY et al. (1984) beschrieben eine dem Menschen ähnliche Anordnung der Dermatome beim Hund. WINKLER und VAN RIJNBEEK (1904) wiesen am Rumpf des Hundes eine definitive Trennung der Dermatome in einen dorsalen und ventralen Abschnitt nach. Zudem berichteten BAILEY et al. (1984) von einem zusätzlichen lateralen Abschnitt im Dermatome sowie einer kaudalen Verschiebung der dorsalen Dermatome gegenüber den lateralen bzw. ventralen Dermatomen (Abb. 2.7).

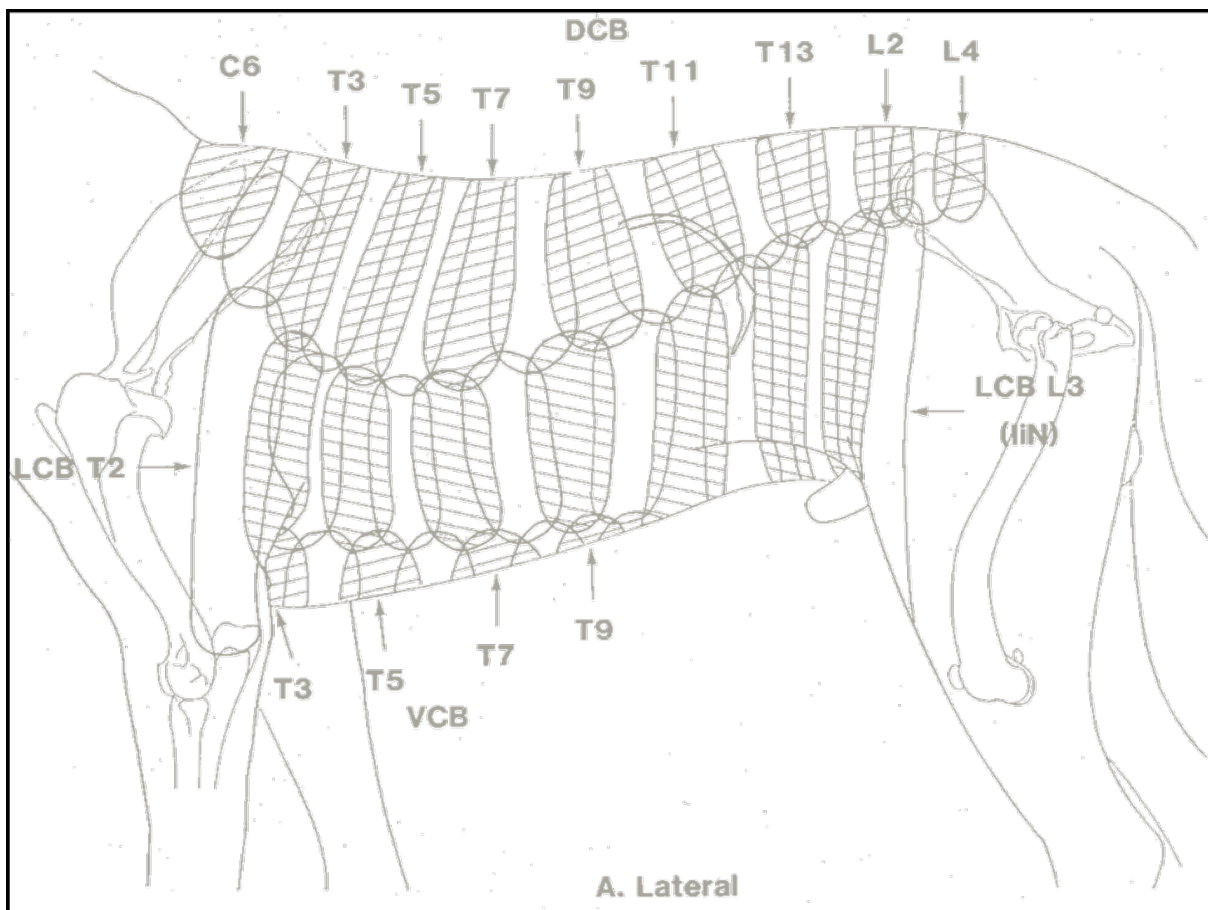


Abb. 2.7 Dermatometafel des Hundes modifiziert nach BAILEY et al. (1984).

DCB: Ramus lateralis (Ramus dorsalis); LCB: Ramus cutaneus lateralis (Ramus ventralis); VCB: Ramus cutaneus ventralis (Ramus ventralis)

Eine Überlappung der einander angrenzenden Dermatome beim Hund lag bei bis zu zwei Dritteln (BAILEY et al. 1984, TEN CATE und WATERMAN 1932). Durch die Überlappung

lässt sich ein Dermatome in zwei Bereiche einteilen. Die „autonome Zone“ entspricht dem Bereich, der nur von einem Nerven innerviert wird. Der umliegende sich überlappende Anteil wird als „Überlappungszone“ bezeichnet (BAILEY und KITCHELL 1987, 1984, KITCHELL et al. 1980) (Abb. 2.8). Für die Katze sind jedoch nur wenige Erkenntnisse über die Lage und Verteilung der Dermatome am Rumpf bekannt.

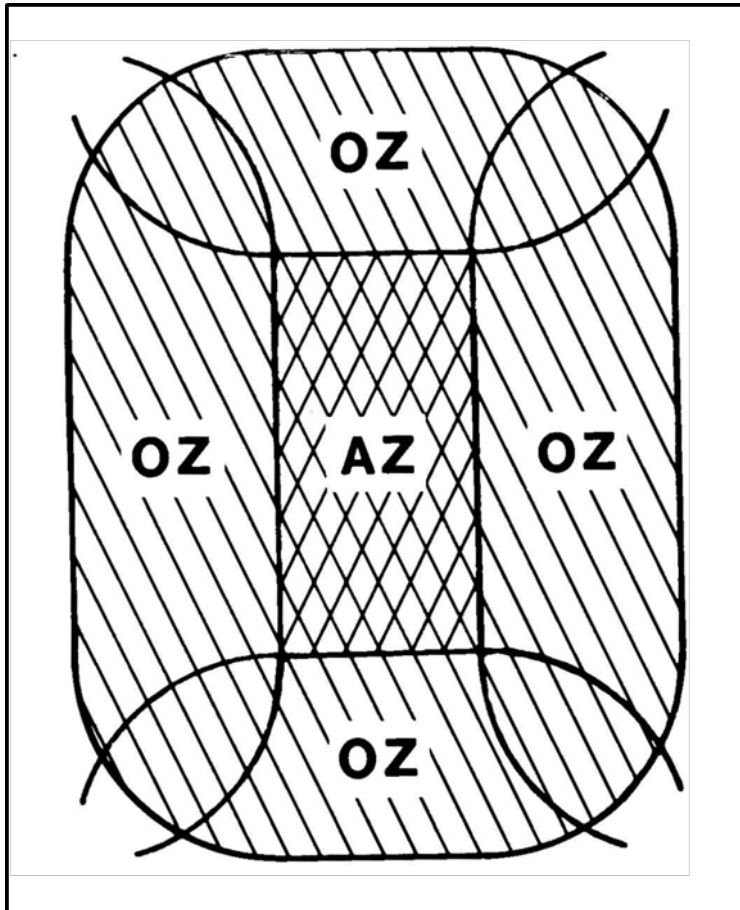


Abb. 2.8 Schematische Darstellung eines Dermatoms nach BAILEY und KITCHELL (1987).

OZ: Überlappungszone; Überschneidungspunkte von mindestens zwei Arealen.
AZ: Autonome Zone; Teil des Dermatoms, welches nur von einem Nerven innerviert wird.

An den Gliedmaßen der Katze wurden Dermatome unter anderem von KUHN (1953) (Rami dorsales L4 bis S4) und HEKMATPANAH (1961) (Rami dorsales C1 bis L4) eingehender untersucht. VAN HARREVELD und SMITH (1952) (Rami dorsales Th11 bis L4) sowie HEKMATPANAH (1961) betrachteten zudem die Innervationsgebiete am Rumpf der Katze. VAN HARREVELD und SMITH (1952), KUHN (1953) und HEKMATPANAH (1961) stellten nur geringe Abweichungen zwischen den Katzen in der Ausdehnung der einzelnen Dermatome eines Spinalnerven fest.

REID (1970) studierte aufbauend auf der Arbeit von KUHN (1953) vor allem die Hautinnervation (Rami dorsales S1 bis Co7) und die Verteilung der Dermatome am Schwanz der Katze. REID (1970) belegte, dass die Haut am Schwanz sowohl durch sakrale als auch

kokzygeale Rami dorsales innerviert wurde. Das widerspricht den Ergebnissen von KUHN (1953), der eine reine sakrale Innervation beschrieb. REID (1970) wies zudem eine gleichmäßige Innervationsdichte der Haut mit 65 Nervenfasern pro 1 cm² nach.

Die Dermatome sind durch ihren innervierenden Spinalnerven ihrem Ursprung gut zuzuordnen. Sie unterliegen jedoch vor allem im lumbaren Bereich einer deutlichen Verschiebung nach kaudal (KASPER 2011c). KUHN (1953) wies diese Kaudalverschiebung der Dermatome auch bei der Katze nach. In der Studie von BAILEY et al. (1984) beim Hund lag die kaudale Verschiebung der lumbaren Dermatome bei bis zu drei Wirbelkörperlängen. BERNIGAU (2013) zeigte ebenfalls bei 12 untersuchten Hunden eine mittlere Kaudalverschiebung für die Haut von 2 bis 3 Rückenbereichen. HEKMATPANAH (1961) konnte für die Katze im Durchschnitt eine Weite des Dermatoms von drei Wirbelkörpern belegen. Für den Hund betrug die durchschnittliche Weite eines Dermatoms eineinhalb Wirbelkörper (BAILEY et al. 1984).

Aussagen zur Form der Dermatome sind nicht einheitlich. Beim Menschen besitzen Dermatome eine bandartige Gestalt. Diese Form zeigte sich ebenfalls für den Hund (VAN RIJNBERK und TEN CATE 1936, TEN CATE und WATERMAN 1932). Dermatome am Rumpf der Katze werden als trapez- bis irregulär streifenförmig beschrieben (VAN HARREVELD und SMITH 1952, DE BOER 1929, KLESSENS 1912). In der Untersuchung von HEKMATPANAH (1961) stellten sich die Dermatome der Katze in den Bereichen Th4 bis L2 als bandförmig mit gleichbleibender Weite dar. Dies galt auch für die Bereiche L3 und L4, wobei sich diese bis auf den oberen Teil der Hintergliedmaße erstreckten. VAN HARREVELD und SMITH (1952) erkannten zudem, dass sich die Dermatome der Spinalnerven L3 und L4 nicht bis zur ventralen Mittellinie erstreckten, sondern vorher endeten. Der ventrale Anteil des Dermatoms des vierten Lendennerven wurde durch den Nervus genitofemoralis innerviert, der bereits dem Plexus lumbosacralis zuzurechnen ist.

2.3 Neuroanatomie in der Komplementären Veterinärmedizin

Anatomische und neurologische Kenntnisse sind für alle diagnostischen und therapeutischen Verfahren in der Medizin relevant. Unter der Komplementären Medizin werden Techniken zusammengefasst, die eine Ergänzung zur klassischen Medizin darstellen. Im Folgenden werden einige der Therapieverfahren angesprochen, denen die Innervationsmuster der Haut als Grundlage dienen und dadurch nicht nur lokal, sondern durch die metameren Beziehungen auf tiefer liegende Schichten und innere Organe einwirken können.

2.3.1 Die transkutane elektrische Nervenstimulation - TENS

Die Abkürzung TENS steht für die transkutane elektrische Nervenstimulation. Bei diesem Verfahren wird eine analgetische Wirkung durch elektrische Impulse erzielt. Dafür werden Elektroden nah an der Hautoberfläche platziert und ein Wechselstrom mit niedrigen

Frequenzen zwischen 10 und 100 Hz angelegt. TENS-Behandlungen gehören der Reizstromtherapie an, die zur Erregung dicker, schnell leitender A-Beta-Fasern führt (HERZOG 2009). Die Aktivierung der Neurone verringert die Schmerzweiterleitung der feinen, schmerzleitenden Afferenzen aus der Peripherie. Dabei handelt es sich vor allem um A-Delta- und C-Fasern, die im Dorsalhorn des Rückenmarks verschaltet werden und ihre Informationen auf die aufsteigenden Bahnen des Ventralhorns übertragen (PÖNTINEN 1991). Dieses Phänomen wird als Gate-Control-Theorie bezeichnet und wurde von MELZACK und WALL (1965) beschrieben.

Weiterhin werden efferente, schmerzhemmende Fasern stimuliert, welche in der Peripherie endogene Morphine freisetzen (HERZOG 2009, PÖNTINEN 1991). Dadurch kommt es zu einer Linderung des Schmerzgeschehens. Dieses wird über das Hautgebiet des innervierenden Spinalnerven auf die verknüpften Areale der verschiedenen muskulären, skelettalen und bindegewebigen Anteile übertragen. Das ist möglich, da ein Spinalnerv einen Segmentalnerven darstellt, der alle Bereiche im Körperinneren sowie an der Oberfläche als eine funktionelle Einheit verbindet (WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009).

GARRISON und FOREMAN (2002) untersuchten mithilfe von TENS-Applikationen die Beeinflussung der Schmerzreizverarbeitung in der dorsalen Rückenmarkswurzel bei Katzen. Es stellte sich heraus, dass die Applikation der Elektroden direkt über einem Nerven den besten Effekt erzielte. Zudem wiesen GARRISON und FOREMAN (2002, 1996, 1994) eine Abnahme in der Neuronenerregung der schmerzleitenden Afferenzen im Dorsalhorn des Rückenmarks durch die TENS-Behandlung nach. GARRISON und FOREMAN (2002) bewiesen darüber hinaus eine signifikante Reduktion der Zellaktivität durch Elektroden auf dem entsprechenden Dermatom der kontralateralen Seite. Die beidseitige Anwendung der Elektroden führte zu einer Summierung des Effektes und einer Schmerzlinderung. Dadurch können Tiere mit Verletzungen oder Verbänden der betroffenen Seite über Elektroden auf den entsprechenden Dermatomen der gegenüberliegenden Körperseite zuverlässig behandelt werden. Die übertragene Wirkung wurde auf eine Kommunikation beider Körperseiten in den verschiedenen Ebenen des Rückenmarks zurückgeführt.

GARRISON und FOREMAN (2002) zeigten durch ihre Ergebnisse, dass Kenntnisse über den anatomischen Verlauf der Nerven den Erfolg der Behandlung bedingen und eine wichtige Rolle in der Elektrotherapie spielen. Darauf aufbauend ist die Sachkenntnis über die Lage der Dermatome für die Anwendung der transkutanen elektrischen Nervenstimulation entscheidend (MAYOR 2008, GESSLER 1991). Trotz des therapeutischen Nutzens fehlen für die Veterinärmedizin Informationen über den Verlauf und die Innervationsgebiete der Spinalnerven oder sind nur unvollständig beschrieben.

TENS-Geräte sind bereits seit den 1970-er Jahren in der Humanmedizin im Einsatz (POTHMANN 1991). Sie finden auch in physiotherapeutischen Bereichen der Veterinärmedizin Anwendung (FOX und MILLIS 2014). Seit wann TENS-Geräte in der Veterinärmedizin verwendet werden, ist nicht belegt. Um das Jahr 2003 wurde jedoch

offiziell das erste veterinärmedizinische TENS-Gerät entwickelt (KASTELIZ 2005, EGNER 2003). TENS-Applikationen sind für die Anwendung beim Kleintier gut geeignet und werden bei chronischem sowie akutem Schmerzgeschehen eingesetzt (HERZOG 2009). Zu den häufigsten Indikationen gehören unter anderem Schmerzzustände im unteren Rücken- bzw. Lendenbereich, Traumata, operative Eingriffe sowie Geburtsvorgänge (ALEXANDER 2004b, GARRISON und FOREMAN 2002). Weiterhin sind TENS-Behandlungen bei funktionellen Einschränkungen des Bewegungsapparates und neurologischen Defiziten indiziert (FOX und MILLIS 2014). Hypersensible myofasziale Schmerzzonen, sogenannte Triggerpunkte, können ebenfalls durch eine TENS-Anwendung behandelt und ihre Druckschmerzschwelle damit erhöht werden (PÖNTINEN 1991).

2.3.2 Triggerpunkte

Triggerpunkte (TrP) kommen in verschiedenen Bereichen des Körpers vor. Dabei handelt es sich um eine lokale Gewebsreaktion auf äußere und innere Noxen. Häufige Lokalisationen für Triggerpunkte sind die Haut, Faszien, Bänder, das Periost und die Myofaszien (TRAVELL und SIMONS 1996). Sie sind druckempfindlich und werden in aktive und latente Punkte eingeteilt (MENSE 2011). Die aktiven Punkte zeigen unwillkürliche Schmerzreaktionen, welche auch in andere Körperregionen übertragen werden (MENSE 2011, TRAVELL und SIMONS 1996, MELZACK et al. 1977). Weitere Merkmale des TrP sind autonome Funktionsstörungen sowie motorische Fehlfunktionen mit Einfluss auf die propriozeptive Wahrnehmung (TRAVELL und SIMONS 2002, 1996).

Die latenten Triggerpunkte reagieren nur auf direkten Druck ohne Spontanschmerzen (MENSE 2011).

Ein myofaszialer Triggerpunkt (MTrP) wird im Allgemeinen als ein schmerzempfindlicher Punkt in der Skelettmuskulatur mit kontrakten Muskelfaserbündeln („taut bands“) angesehen (SIMONS 1997) (Abb. 2.9). Der MTrP ist als Verhärtung in der Skelettmuskulatur fühlbar (MENSE 2011). Für einen myofaszialen Triggerpunkt wird der Begriff Myogelose gleichbedeutend verwendet (SIMONS 1997). MENSE (2011) vermutet, dass es sich bei einer Myogelose um eine Ansammlung mehrerer MTrP handelt, da sie die gleichen Merkmale wie MTrP besitzen. Sie weisen jedoch einen größeren Durchmesser auf.

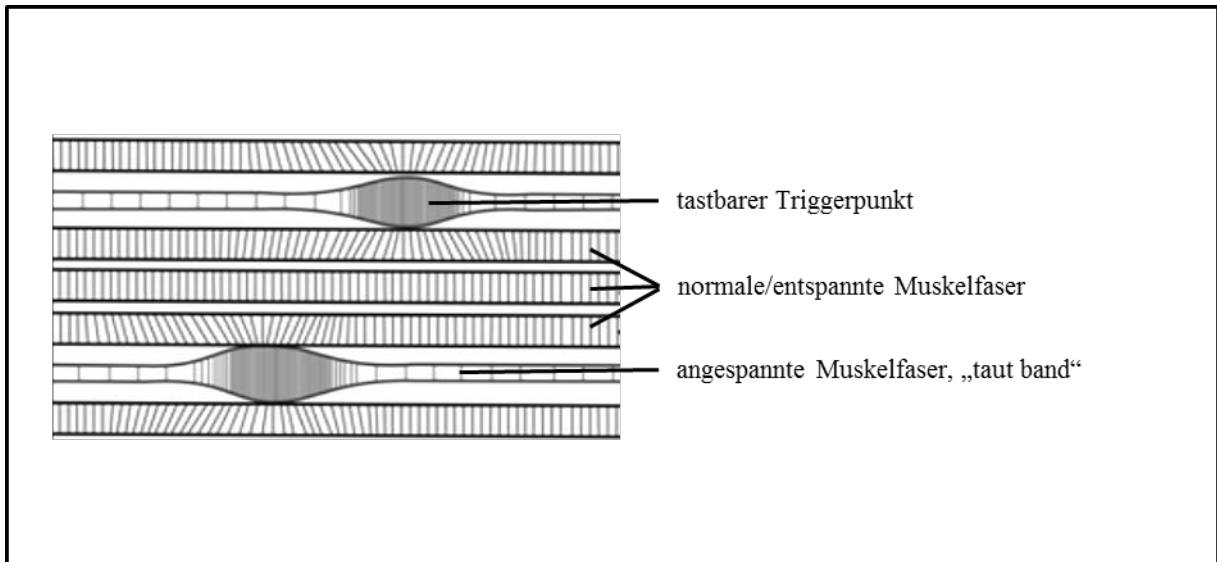


Abb. 2.9 Schematische Darstellung eines myofaszialen Triggerpunktes modifiziert nach MENSE (2011).

Die Entwicklung eines MTrP wird in der Literatur unterschiedlich geschildert. BAROP (1996) beschreibt einen myofaszialen Triggerpunkt als eine lokale Hypertonie in der Muskulatur, die durch ein irritiertes, peripheres somatisches Nervenfaserbündel entsteht. SIMONS (1997) erklärt einen MTrP durch eine lokale Kontraktur der Muskulatur mit Verkürzung der Sarkomere. Die Muskelkontraktur ruft eine „Energiekrise“ sowie Hypoxie hervor, die die umliegenden Nozizeptoren sensibilisieren. Diese Sensibilisierung wird durch verschiedene freigesetzte Gewebshormone, wie Serotonin und Prostaglandine, bedingt (MENSE 2011). Nach BAROP (1996) gehen MTrP mit lokaler Hypertonie einher und sind eine Reaktion auf Überbelastung des Bewegungsapparates oder Erkrankungen innerer Organe. Auch MELZACK et al. (1977) beschreiben MTrP als eine Reaktion auf myofasziale und viszerale Schmerzen in ihrem Übertragungsgebiet; siehe Kap. 2.2.5. So kann im Umkehrschluss durch Druck auf einen Triggerpunkt der Schmerz in myofasziale und viszerale Gewebe übertragen werden (MELZACK et al. 1977).

KENNARD und HAUGEN (1955) wiesen in ihrer Studie nach, dass sich bei all ihren 72 humanen Probanden mit Herzerkrankungen die Triggerpunkte an der gleichen Stelle befanden und dieselbe Schmerzsymptomatik besaßen. JANSSENS (2009) beobachtete bei 43 von 44 Hunden einen ähnlichen Zusammenhang zwischen Lahmheiten der Vordergliedmaße und Triggerpunkten mit Lokalisation im M. triceps brachii.

Insgesamt sind bisher 11 MTrP für den Hund bekannt. Die meisten davon befinden sich in der Muskulatur der Schulter, der Hintergliedmaße und im Lendenbereich (JANSSENS 2009).

Triggerpunkte liegen in räumlicher Nähe zu großen und oberflächlichen Nerven (JANSSENS 1991, KENNARD und HAUGEN 1955). Sie treten auch häufig an Durchtrittsstellen von Nerven durch Muskel- oder Subkutanfaszien auf (BAROP 1996). MELZACK et al. (1977)

beschrieben sogar eine lageabhängige Innervation der Triggerpunkte durch dorsale Spinalnervenäste.

Eine kurze, intensive Stimulation eines Triggerpunktes kann eine Schmerzfür eine unbestimmte Zeit bewirken und wird als „Hyperstimulations Analgesie“ bezeichnet (MELZACK et al. 1977, MELZACK 1971). Dabei wird ein Reiz gesetzt, welcher schnellleitende Nervenfasern stimuliert und damit eine Überlagerung der Schmerzreize erzielt (Gate-Control-Theorie) (FRITZ 2016).

Therapeutische Maßnahmen, wie gezielte Injektionen und Infiltrationen, stimulieren segmentalreflektorische Prozesse (BAROP 1996); siehe Kap. 2.2.5. Die therapeutische Infiltration der Triggerpunkte ist ein Zweig der Neuraltherapie. Sie dient der Behandlung von lokalen Reizen (hier Triggerpunkten) die Schmerzen verursachen (KASPER 2011a). Dabei werden subfaszial kleine Mengen eines Lokalanästhetikums oder einer Kochsalzlösung injiziert. BOELEN et al. (2013) zeigten durch die Anwendung eines Lokalanästhetikums im Vergleich zur Kochsalzlösung eine signifikant höhere Schmerzreduktion.

2.3.3 Neuraltherapie

Die Neuraltherapie umfasst Therapiemethoden mit Injektionen und Infiltrationen von Lokalanästhetika in das Gewebe. Es gibt zwei Begriffe, die sich im Zusammenhang mit Neuraltherapie durchgesetzt haben. Dazu zählen die therapeutische Lokalanästhesie und die Neuraltherapie nach Huneke. Mit der therapeutischen Lokalanästhesie werden nur lokale und segmentale Strukturen behandelt (ZOHMANN und KASPER 1994). Bei der Neuraltherapie nach Huneke wird neben der direkten Injektion in das lokale, segmentale Gebiet die Behandlung der „Störfelder“ mit einbezogen (BAROP 1996, ZOHMANN und KASPER 1994). „Störfelder“ wurden 1940 von Huneke beschrieben (BAROP 1996). Es handelt sich dabei um gereizte Bereiche, die eine Schmerzsymptomatik bedingen (KASPER 2011b). Diese Irritationszentren werden durch subklinische, subchronische oder chronische Entzündungen hervorgerufen und führen in entfernteren Gebieten und Organen zu Beschwerden (BAROP 1996, ZOHMANN und KASPER 1994). Sie sind selbst oft schmerzfrei, belasten jedoch den gesamten Organismus, welcher dadurch für weitere Noxen anfällig wird (KASPER 2011a, DEMMRICH-WANDER 2004, ZOHMANN und KASPER 1994). Häufige Ursachen für die Reizungen bilden Herde, Narben und Triggerpunkte (KASPER 2011a, ZOHMANN und KASPER 1994). Prädisponierende Faktoren, die zur Entwicklung von Irritationen beitragen, sind unter anderem Nahtmaterialien und Narben nach chirurgischen Eingriffen. Weiterhin zählen verschiedene Organe und Organsysteme, wie der Genital- und Magen-Darm-Trakt, die Analbeutel, die Ohren und die Zähne, dazu (KASPER 2011a).

Bei einer regionalen Neuraltherapie wird das Lokalanästhetikum paravertebral auf Höhe der Austrittsstelle des Spinalnerven injiziert (ZOHMANN und KASPER 1994). Dadurch werden die motorische und sensible sowie die vegetative Nervenleitung in das Versorgungsgebiet

unterbrochen (ZOHMANN und KASPER 1994). Das Lokalanästhetikum wirkt sich durch Diffusion des Infiltrationsdepots auf das umliegende Gewebe aus. Durch die anatomische räumliche Nähe zueinander werden damit sowohl die Grenzstrangganglien als auch die Spinalnerven angesprochen (HANSEN und SCHLIACK 1962); siehe Kap. 2.2.4.

Für die Behandlung von Irritationszentren wird das Lokalanästhetikum für eine Inhibition vegetativer Nerven um den betroffenen Bereich injiziert (ZOHMANN und KASPER 1994). Die Infiltration kann intrakutan, subkutan, präperiostal und perikapsulär erfolgen. Neben der lokalen und segmentalen Anwendung wird die intrakutane Infiltration auch für die Therapie von Irritationszentren genutzt. Dafür wird das Neuraltherapeutikum intrakutan injiziert und ein lokales Depot gesetzt (PSCHYREMBEL 2014, ZOHMANN und KASPER 1994). Die sogenannte „Quaddelung“ führt in der Haut zu Dehnungsreizen der Hautoberfläche und zu lokaler Vasokonstriktion. Durch den entstandenen Dehnungsreiz wird über den Mechanismus der Gate-Control-Theorie die Schmerzleitung überlagert und somit die Reizschwelle angehoben. Infolge einer reflektorischen Vasokonstriktion verengen sich die Gefäße im umliegenden Gewebe und im korrespondierenden Organ. Dieser Zusammenhang wird für schwer zugängliche Bereiche genutzt, wobei das Lokalanästhetikum im dazugehörigen Dermatom appliziert wird (ZOHMANN und KASPER 1994). Injektionen finden seltener Anwendung und werden intraartikulär und intravasal genutzt (ZOHMANN und KASPER 1994).

HEINE (2006) beschrieb einen positiven Einfluss der Neuraltherapie auf verschiedene Stresszustände durch Hemmung des Sympathikus. Der lokale Effekt auf das sympathische Nervensystem wirkt sich durch segmentalreflektorische Zusammenhänge, wie z.B. viszerokutane Reflexbögen, auf das zugehörige Metamer und damit dem Gesamtorganismus aus. Grundlegend dafür sind Verbindungen zwischen den Neuronen der Grenzstrangganglien und den Kollateralen von viszeralen afferenten Neuronen. In den sympathischen Ganglien werden die afferenten Impulse durch Inhibition oder Verstärkung verarbeitet, dadurch besitzen sie integrative Funktionen (SALOMON 2015e). Zudem leiten die Afferenzen Informationen über den neuraltherapeutisch veränderten Sympathikotonus an das Rückenmark weiter.

Einen direkten Einfluss von intrakutanen Infiltrationen und intravenösen Injektionen des Lokalanästhetikums Procain wiesen BRAVO-MONSALVO et al. (2008) bei 18 Hunden mit atopischer Dermatitis nach. Die Tiere wurden 18 Monate neuraltherapeutisch behandelt und zeigten eine signifikante Reduktion des begleitenden Pruritus. Die klinischen Symptome verringerten sich bei 88% der Tiere über 50%. Das klinische Bild der atopischen Dermatitis reduzierte sich um 77 bis 79%. Die Tiere besaßen ein besseres Allgemeinbefinden, erhöhten Appetit und gesteigerten Haarwuchs infolge der neuraltherapeutischen Behandlungen. BRAVO-MONSALVO et al. (2008) stellten die Theorie auf, dass durch die Neuraltherapie das Ruhemembranpotential und die Leitfähigkeit von Nervenzellen wieder hergestellt wurde.

Infolgedessen reduzierten sich die Erregbarkeit der C-Fasern und die Freisetzung von Neuropeptiden.

Auch in der Physiotherapie werden lokale und segmentale Infiltrationen von Lokalanästhetika an Trigger- und Akupunkturpunkten eingesetzt. Dies hat eine positive Wirkung auf den Behandlungserfolg und die Rehabilitationszeit, da Schmerzen die Genesung des Patienten beeinflussen (CHALLENGE-KATHMANN 2009b).

2.3.4 Akupunktur

Die Akupunktur ist schon seit langem Bestandteil der Komplementären Veterinärmedizin. Bereits in alten chinesischen Schriften wurden Akupunkturpunkte und ihre Anwendungen für Tiere beschrieben (EUL-MATERN 2015). Mitte des 20. Jahrhunderts wuchs auch im westlichen Teil der Welt das Interesse an Akupunktur und chinesischer Medizin (JAGGAR und ROBINSON 2009). Nachdem 1951 die „Deutsche Ärztesgesellschaft für Akupunktur“ gegründet wurde, entwickelte sich die Akupunktur auch in der Veterinärmedizin weiter (EUL-MATERN 2015). Im Jahr 1974 wurde die Organisation IVAS (International Veterinary Acupuncture Society) gegründet. Seitdem organisiert und unterstützt die IVAS Akupunkturweiterbildungen für Tierärzte (IVAS 2016). Die Einsatzgebiete der veterinärmedizinischen Akupunktur sind sehr vielfältig. Zu ihnen zählen verschiedene Schmerzgeschehen, die prä- und postoperative Analgesie sowie Erkrankungen in verschiedenen Organsystemen. Sie wird zum Beispiel bei der caninen Osteoarthritis als begleitende Therapie angewandt (FOX und MILLIS 2014).

Akupunkturpunkte sind umschriebene Areale an der Hautoberfläche, die reflektorisch bei Krankheiten reagieren (KITZINGER 1989). Ihre anatomische Lage ist genau beschrieben und sie befinden sich oft an markanten Stellen, wie Knochenvorsprüngen oder zwischen Muskelbäuchen (DRAEHMPAEHL und ZOHMANN 2009). Unter physiologischen Verhältnissen ist ein Akupunkturpunkt unauffällig (KITZINGER 1989). Alle Akupunkturpunkte sind tastbar, verändern sich jedoch bei pathologischen Vorgängen (EUL-MATERN 2015). Sie werden durch Störungen des zugeordneten Organs oder Körperbereichs aktiv (KITZINGER 1989). Diese reaktiven Akupunkturpunkte stellen sich als aufgequollenes Gewebe oder als eine trockene, eingefallene Hautstelle dar (EUL-MATERN 2015, DRAEHMPAEHL und ZOHMANN 2009, LANG 1976). Die Behandlung des reaktiven Akupunkturpunktes kann durch setzen verschiedener Nadeln, mit einem Lasergerät, durch Stimulation mit elektrischen Strom oder Massageanwendungen erfolgen (EUL-MATERN 2015, DRAEHMPAEHL und ZOHMANN 2009). Das Auffinden der Akupunkturpunkte erfolgt meist palpatorisch, da sie häufig auf Berührung reagieren und der Therapeut dies wahrnehmen kann (EUL-MATERN 2015, DRAEHMPAEHL und ZOHMANN 2009).

Sie können jedoch auch durch ihre anatomische Lage oder über einen veränderten Hautwiderstand mithilfe eines Punktsuchgerätes bestimmt werden (DRAEHMPAEHL und ZOHMANN 2009).

Es gibt eine westliche und eine traditionell chinesische Einteilung der Akupunkturpunkte (HWANG 2009). Im Folgenden werden nur einige Akupunkturpunkte der Traditionellen Chinesischen Medizin (TCM) erwähnt.

Akupunkturpunkte werden oft Meridianen zugeordnet, die sich über den gesamten Körper erstrecken (EUL-MATERN 2015). Zu Beginn der veterinärmedizinischen Akupunktur war ein Meridiansystem nicht üblich (EUL-MATERN 2015). Auch in den altchinesischen Akupunkturkarten sind keine Akupunktur-Meridiane für Tiere vorhanden (KIENITZ 2011). Sie wurden erst später fernab der chinesischen Kultur vom Menschen auf das Tier übertragen (EUL-MATERN 2015). Es ist umstritten, ob diese Meridiane beim Tier anwendbar sind und diese Bezeichnung in der Veterinärmedizin verwendet werden sollte. KRAFT (1980) postuliert, dass es sich bei einem Meridian nur um eine Aufreihung von Akupunkturpunkten handelt. KNOSPE (2007) suchte den Zusammenhang von Akupunkturpunkten auf Meridianen in den Überlappungsgebieten der Dermatome. Bei den durch die Überlappung entstehenden Maximalpunkten handelt es sich nach KNOSPE (2007) um Akupunkturpunkte auf bekannten Meridianen an Kopf, Rumpf und Gliedmaßen (Abb. 2.10). Auch WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL (2009) beschreiben die Bildung von Maximalpunkten an den Überlappungszonen von Dermatomen. KNOSPE (2007) beschreibt weiterhin, dass es durch den Zusammenhang von Maximal- und Akupunkturpunkten noch weitere, neue Akupunkturpunkte geben könnte. Obwohl KNOSPE (2007) von Meridianen spricht, ist er jedoch gegen eine direkte Übertragung der Meridiane von Mensch auf Tier.

KRAFT (1980) schildert sogar ein Fehlen von Akupunkturpunkten auf den Meridianen beim Tier. Er erachtet daher die Bezeichnung Meridian als nicht sinnvoll, da durch das Fehlen oft wichtiger Punkte auch die dem Meridian zugesprochene Wirkung fehlt. Die gegebenen anatomischen Unterschiede zwischen Mensch und Tier sowie zwischen den Tierarten sprechen weiterhin gegen eine direkte Übertragung der Akupunkturpunkte. Unterschiede finden sich vor allem in der Anzahl an Wirbeln und Rippen sowie der tierartlich verschieden entwickelten Gliedmaßen und ihren ausgebildeten Zehen. Weiterhin sind die Körperhaltung und die veränderte Stellung der Gelenke sowie die Entwicklung der Muskulatur nicht mit denen des Menschen zu vergleichen (KRAFT 1980). KRAFT (1980) beschreibt, dass der Hund dem Menschen in seinen Akupunkturpunkten am Ähnlichsten sei, es aber dennoch nicht möglich ist, alle Punkte entsprechend anzuwenden.

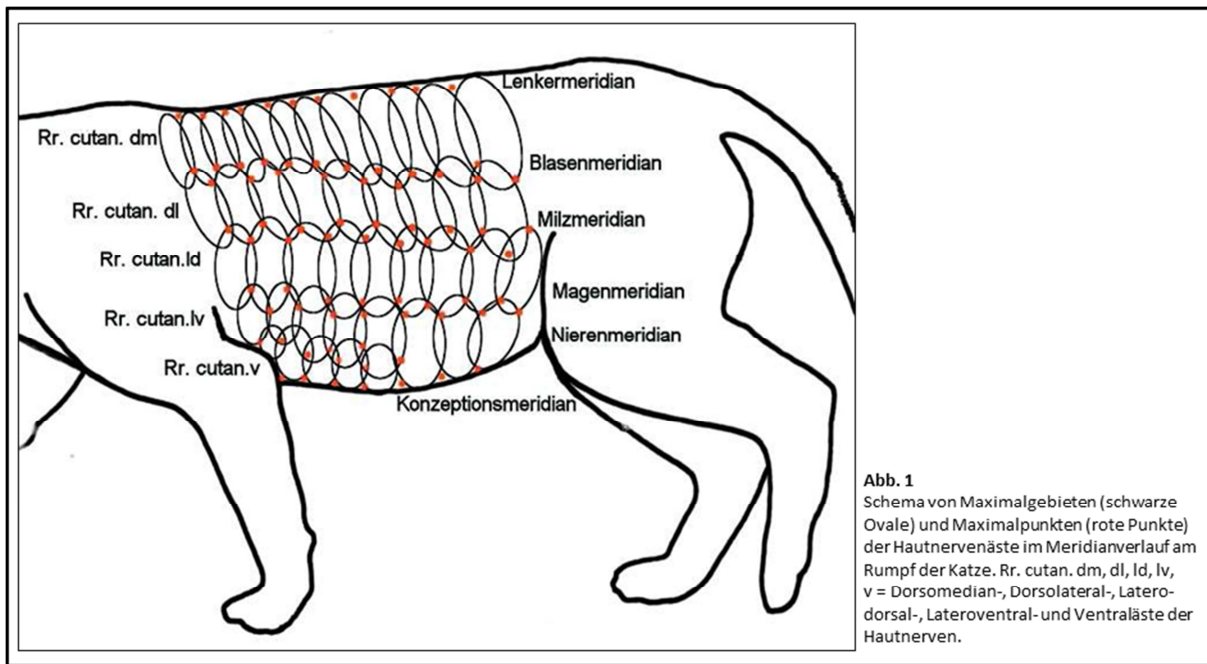


Abb. 2.10 Schematische Darstellung der Dermatome am Rumpf der Katze mit Überlappungszonen und Maximalpunkten nach KNOSPE (2007).

Wie Akupunktur funktioniert und welche Wirkweisen dahinter stehen, konnte bisher nicht gänzlich geklärt werden. Eine mögliche Erklärung ist der Verlauf von Nerven unterhalb von Akupunkturpunkten. HEINE (1988) konnte an Akupunkturpunkten des Menschen Gefäß-Nervenbündel nachweisen. Dabei handelte es sich um Spinalnerven die zusammen mit kleineren Blutgefäßen verliefen. Auch EGERBACHER (1993, 1991) fand unterhalb von 27 Akupunkturpunkten des Blasenmeridians bei Rind und Hund 19 Gefäß-Nervenbündel bzw. acht Rami cutanei mediales. Die Gefäß-Nervenbündel perforierten an einem umschriebenen Akupunkturpunkt die Fascia superficialis der Fascia thoracolumbalis (EGERBACHER 1993, HEINE 1988). Dabei verliefen die Gefäß-Nervenbündel in einer gemeinsamen Bindegewebsmanschette (EGERBACHER 1993, 1991). EGERBACHER (1993, 1991) und HEINE (1988) wiesen an 70% bzw. 80% der untersuchten Akupunkturpunkte Gefäß-Nervenbündel beim Durchtritt durch die Faszie nach. Diese Ergebnisse weisen auf einen Zusammenhang zwischen Akupunkturpunkten und Nervenverläufen hin. In einer Untersuchung von DRAEHMPAEHL et al. (1993) an sieben Katzen und fünf Hunden untermauern sie die Ergebnisse von EGERBACHER (1993, 1991) und HEINE (1988). Die Autoren fanden ebenfalls Gefäß-Nervenbündel unter den Akupunkturpunkten des Blasenmeridians und bezeichnen diese als das „morphologische Korrelat“ der Akupunkturpunkte. Dementgegen zeigte BERNIGAU (2013) durch ihre Untersuchungen am Hund, dass es nicht immer ein „morphologisches Korrelat“ zu einem Akupunkturpunkt gibt. In ihrer Untersuchung konnten keine reproduzierbaren Ergebnisse im Zusammenhang der Gefäß-Nervenbündel mit Akupunkturpunkten beim Hund festgestellt werden. Die durch die Akupunktur vermittelte Wirkung sei eher auf eine regelmäßige segmentale Anordnung der Nerven zurückzuführen.

Ein weiterer Ansatz für die Wirkung von Akupunktur bietet ein Zusammenhang mit dem vegetativen Nervensystem. So beschreibt LANG (1976) Meridiane als eine Art Schaltzentrum des sympathischen Nervensystems mit Verbindung zum Rückenmark. Diese Meridiane verlaufen (ausgehend vom Menschen) vertikal über den Körper und dadurch senkrecht zu den horizontal ausgerichteten Dermatomen. SANCHEZ-ARAUJO und LUCKERT-BARELA (2014) verglichen in ihrer Studie das dem Akupunkturpunkt zugeordnete Krankheitsbild mit der anatomischen Lage der Akupunkturpunkte. Es wurde untersucht, ob die Indikationen der Akupunkturpunkte eher mit den Meridian zugeordneten Funktionen oder den segmentalen Verbindungen assoziiert sind. Sie teilten die Akupunkturpunkte in vertikale (Meridian orientiert) und horizontale (Dermatom entsprechend) Gruppen ein. Die Ergebnisse zeigten, dass nicht die Meridian- und damit Organzugehörigkeit relevant ist, sondern auf welchem Dermatom sich der Punkt befindet. Die Akupunkturpunkte verschiedener Meridiane desselben Dermatoms besitzen die gleichen medizinischen Indikationen. Das weist darauf hin, dass Akupunkturpunkte unabhängig ihrer organspezifischen Meridiane betrachtet werden sollten. Sie sind eher auf neurobiologische Zusammenhänge, wie sie bei einem Dermatom vorkommen, zurückzuführen. Damit wird deutlich, dass Kenntnisse über die Lage der Dermatome und ihrer Innervation eine große Bedeutung besitzen und auch für eine erfolgreiche Akupunkturtherapie wichtig sind. Weiterhin beschrieben SANCHEZ-ARAUJO und LUCKERT-BARELA (2014), dass eine unspezifische Nadelung des Dermatoms oder eines Akupunkturpunktes weitreichende, durch segmentale Zusammenhänge entstehende, Reaktionen hervorrufen kann. Auch hier beruht dieser Effekt auf neuralen und somatisch-viszeralen Grundlagen.

Eine weitere These der Wirkweisen der Akupunktur ist die Freisetzung von endogenen Opioiden. POMERANZ und CHIU (1976) wiesen eine Sekretion von Endorphinen aus Hypophyse und Hirnstamm bei der Maus durch Nadelung des Akupunkturpunktes Dickdarm 4 nach. Die entstandene Analgesie wurde erfolgreich durch den Opioid-Antagonisten Naloxon herabgesetzt. Auch die Konzentrationen weiterer opioider Peptide (Enkephaline, Dynorphin), biogener Amine und des Serotonins wurden durch die Akupunktur Anwendung verändert. Weiterhin stellt die Gate-Control-Theorie eine wichtige Grundlage für die Wirkweisen der Akupunktur da (FOX und MILLIS 2014).

Zudem gibt es die Theorie, dass Akupunkturpunkte und Head'sche Zonen in Zusammenhang stehen. BEISSNER et al. (2011) verglichen Shu- und Mu-Punkte mit den Maximalpunkten nach Head. Diese Maximalpunkte liegen innerhalb der Head'schen Zonen und stellen den Ursprungsort der Schmerzen bzw. der Symptome dar (BEISSNER et al. 2011, ZOHMANN und KASPER 1994). Bei den Mu- und Shu-Punkten handelt es sich jeweils um 12 Akupunkturpunkte (EUL-MATERN 2015, HWANG 2003, 2009). Die Shu-Punkte liegen auf dem Blasenmeridian links und rechts der Wirbelsäule. Mu-Punkte verteilen sich wiederum auf mehrere Meridiane, unter anderem dem Gallenblasen- und Lebermeridian (EUL-MATERN 2015). Beide reagieren schmerzhaft auf Druck bei Störungen in den korrespondierenden Organen (EUL-MATERN 2015, HWANG 2009).

BEISSNER et al. (2011) stellten Übereinstimmungen zwischen den Mu- und Shu-Punkten und den Maximalpunkten nach Head fest. MAYOR (2008) untersuchte die Verbindungen zwischen den Mu- und Shu-Punkten und ihren traditionell zugeordneten Organen. Er wies für Shu- und Mu-Punkte einen segmentalen Zusammenhang zu den entsprechenden Zielorganen nach. Dabei zeigten die Shu-Punkte eine höhere segmentale Verbindung zu den Dermatomen, während die Mu-Punkte eher mit den segmentalen Myotomen korrespondierten. Myotome und Dermatome liegen nicht immer direkt übereinander (SCHLIACK 1966). Dadurch sollte die Tiefe der Nadelung der Mu- und Shu-Punkte bedacht werden, um das richtige Segment anzusprechen (MAYOR 2008).

Triggerpunkte zeigen eine ähnliche Druckdolenz wie Shu- und Mu-Punkte und weisen noch weitere Gemeinsamkeiten mit Akupunkturpunkten auf. Sie liegen beide häufig in unmittelbarer Nähe zu Schmerzarealen oder einem gewissen Abstand zu ihnen. Weiterhin zeigen Akupunktur- und Triggerpunkte eine überwiegende räumliche Übereinstimmung und besitzen partiell die gleiche Schmerzqualität (MELZACK et al. 1977).

MELZACK et al. (1977) verglichen schmerzassoziierte Akupunkturpunkte mit Triggerpunkten. Als Kriterien wurden die Schmerzsymptomatik und ihre räumliche Lage herangezogen. Es bestand eine Übereinstimmung von 71% zwischen Akupunktur- und Triggerpunkten. BIRCH (2003) berichtete, dass es sich bei diesen Akupunkturpunkten um *Ah-Shi* Punkte (Schmerzpunkte) handeln könnte. Diese sind mit der Skelettmuskulatur assoziiert und druckdolent. Sie sind nicht an eine anatomische Lokalisation gebunden und verändern sich mit dem Körper. DORSHER und FLECKENSTEIN (2008) wiesen eine Übereinstimmung von bis zu 97% bei Schmerz- und bis zu 93% bei somatoviszeralen Indikationen zwischen Triggerpunkten und klassischen (ortsgebundenen) Akupunkturpunkten nach. Es ist wahrscheinlich, dass es sich bei beiden Punkten um dasselbe „physiologische Phänomen“ handelt (DORSHER und FLECKENSTEIN 2008, BAROP 1996, MELZACK et al. 1977). JANSSENS (1991) beschrieben bei 48 Hunden vier Übereinstimmungen von Akupunktur- und Triggerpunkten. Dabei waren zum Beispiel der MTrP des M. peroneus longus mit dem Akupunkturpunkt Gallenblase 34 und der MTrP des M. gluteus medius mit dem Akupunkturpunkt Gallenblase 29 assoziiert.

2.3.5 Manuelle Therapiemethoden

Die manuellen Therapiemethoden sind sehr vielfältig und finden in der chiropraktischen, osteopathischen und physiotherapeutischen Praxis Anwendung (HERTWIG 2011a). Zu den manualtherapeutischen Maßnahmen gehören unter anderem Massagetechniken (HERTWIG 2011b). Verschiedene Massagemethoden werden insbesondere bei der Therapie von lokalen Veränderungen eines Dermatoms aufgrund segmentanatomisch zusammenhängender Probleme eingesetzt (WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL 2009). Für diese Anwendungen sind Kenntnisse über die Anatomie des Bewegungsapparates, der nervalen Versorgung sowie deren Zusammenhänge mit den inneren Organen essentiell. In ihrer Dissertation weist BERNIGAU (2013) darauf hin, dass ein fundiertes Wissen über die

anatomischen Verhältnisse eine wesentliche Voraussetzung für den Therapeuten ist. Dabei ist auch das vegetative Nervensystem einzubeziehen. SCHLIACK (1982) beschreibt die Bindegewebsmassage als eine segmentgebundene Reflexwirkung, bei der der Spinalnerv als Richtpunkt für die segmentale Anatomie gilt. Dabei wirkt sich die Bindegewebsmassage nicht nur auf das behandelte Dermatom aus, sondern zeigt reflektorische Wirkung auf das Vegetativum. Die Grundlage dafür bildet der durch die Haut übertragene afferente Impuls. Dieser zieht über die Dorsalwurzel zum Rückenmark und wird dort verschaltet. Durch die Ventralwurzel gelangen Efferenzen unter anderem zum vegetativen Nervensystem (SCHLIACK 1982). Es handelt sich um präganglionäre sympathische Efferenzen, die nach Austritt aus dem Wirbelkanal an den Grenzstrang ziehen. Von dort gelangen sie, nach erneuter Umschaltung, gemeinsam mit den Spinalnerven in die Peripherie. Die postganglionären sympathischen Fasern stammen aus mehreren Grenzstrangganglien und zeigen eine höhere Divergenz in ihrem Innervationsgebiet als die sie begleitenden Spinalnerven (BAROP 1996). Dadurch verteilen sich diese Fasern über mindestens drei bis vier Dermatome (SCHLIACK 1982).

Die Massage fördert ferner die Durchblutung infolge einer reflektorischen Gefäßerweiterung und der Erschließung ruhender Kapillargebiete (CHALLENGE-KATHMANN 2009a). Zudem steigert sie die Körperwahrnehmung bei neurologischen Patienten durch Stimulation von Muskelspindeln und Mechanorezeptoren in der Haut (CHALLENGE-KATHMANN 2009a). Durch metamere Zusammenhänge und der daraus resultierenden Segmentalreflektorik können internistische Probleme muskuläre Verspannungen auslösen (ZOHMANN und KASPER 1994). Durch das Massieren von Haut und Muskulatur kann dieser Effekt eine entgegengesetzte Wirkung auf das betroffene Organ ausüben (CHALLENGE-KATHMANN 2009a). Die positive Regulierung der funktionellen Störung erfolgt durch eine Spasmolyse oder Hyperämie des betroffenen Organs (ALEXANDER 2004a).

3 Tiere, Material, Methoden

3.1 Vorbereitung und Fixation der Tiere

In dieser Arbeit wurden insgesamt 15 adulte Katzen der Rasse Europäisch Kurzhaar mesoskopisch untersucht. Davon waren vier weiblich, sechs männlich und fünf männlich kastriert. Ihr Gewicht lag zwischen 4 und 6 kg. Weitere Informationen sowie ein Vorbericht über die Tiere waren nicht verfügbar. Die Katzen stammten aus verschiedenen kooperierenden Tierarztpraxen in Leipzig und Umgebung und wurden dem Veterinär-Anatomischen Institut für Lehre und Forschung zur Verfügung gestellt. Sie wurden aufgrund einer medizinischen Indikation tierschutzkonform euthanasiert und zeitnah in der Tierarztpraxis abgeholt.

Unmittelbar nach Ankunft der Tiere im Institut begann die Vorbereitung der Präparation. Das Haarkleid der Tiere wurde dafür im Rückenbereich mit einer Schermaschine (Aesculap Typ Favorita II) entfernt. Für die Fixation wurde eine mit Polstermaterial befüllte Fixationsunterlage hergestellt. Diese ermöglichte eine gerade, leicht gestreckte Ausrichtung der Wirbelsäule in Rückenlage. Die Formalinfixierung erfolgte mittels intraarterieller Perfusion über die Arteria femoralis. Über einen Venenverweilkatheter wurden den Tieren zwischen 350 ml und 600 ml einer handelsüblichen 4%-igen Formalinlösung mit einer Spritze per Hand injiziert. Nach dreitägiger Fixation wurden die Tiere im Computertomografen (CT) untersucht; siehe Kap. 3.6. Danach begann die schichtweise Präparation der Katzen.

3.2 Präparation und Erfassung der Messwerte

Nach der Fixation wurde mit einem Skalpell der Größe 21 ein dorsomedianer Schnitt von den Schulterblättern bis zur Schwanzwurzel geführt. Dies geschah unter Rücksichtnahme auf eventuelle Hautnerven in der Dorsomedianen. Entlastungsschnitte nach ventral, am Ende der dorsomedianen Schnittstelle, ermöglichten einen größeren Präparationsbereich. Danach wurde beidseitig die Unterhaut mit einem Skalpell der Größe 15 vorsichtig nach ventral von der Fascia thoracolumbalis getrennt, um die dorsalen Hautnerven darzustellen. Die gesamte Präparation erfolgte in vier Ebenen auf beiden Körperseiten.

Haut und Unterhaut wurden hierbei als Ebene 1 definiert. Die Fascia thoracolumbalis entsprach der Ebene 2. Die Muskulatur am Rumpf stellt sich nach Abpräparation der Fascia profunda der Fascia thoracolumbalis und des M. latissimus dorsi als Ebene 3 dar. Im Anschluss wurde faserweise die lange Rückenmuskulatur bis auf das Niveau der Procc. transversi abpräpariert und die Nerven bis zum Austritt durch die Forr. intervertebralia verfolgt. Die Ebene 4 entsprach dem Niveau der Forr. intervertebralia. Die schichtweise Präparation wurde für jedes Tier fotografisch festgehalten. In Abb. 3.1 werden die einzelnen Ebenen schematisch dargestellt.

Innerhalb jedes Präparationsbereiches wurden die frei erkennbaren und mit der Präparationslupe (Lupenlampe mit Rollständer Stativ 8 Dioptrien S3301) sichtbaren Nerven für eine bessere Zuordnung und Dokumentation mit grüner Acrylfarbe (Marke Talens) mittels Pinsel farblich gekennzeichnet. Später wurde für eine bessere Vergleichbarkeit der Katzen untereinander ein geeigneter umschriebener Bereich zwischen dem Brustwirbel Th9 und dem Sakrum mit den Spinalnerven Th9 bis L7 gewählt. Die Dornfortsätze wurden ebenfalls, für eine bessere Zuordnung der Rückenbereiche, mit Acrylfarbe (Marke Talens) markiert. Der erste Lendenwirbel (L_w) wurde schwarz gekennzeichnet und die darauffolgenden blau. Die farbliche Markierung der Dornfortsätze und Nerven musste aufgrund des Präparationsprozesses für jede Schicht erneut durchgeführt werden.

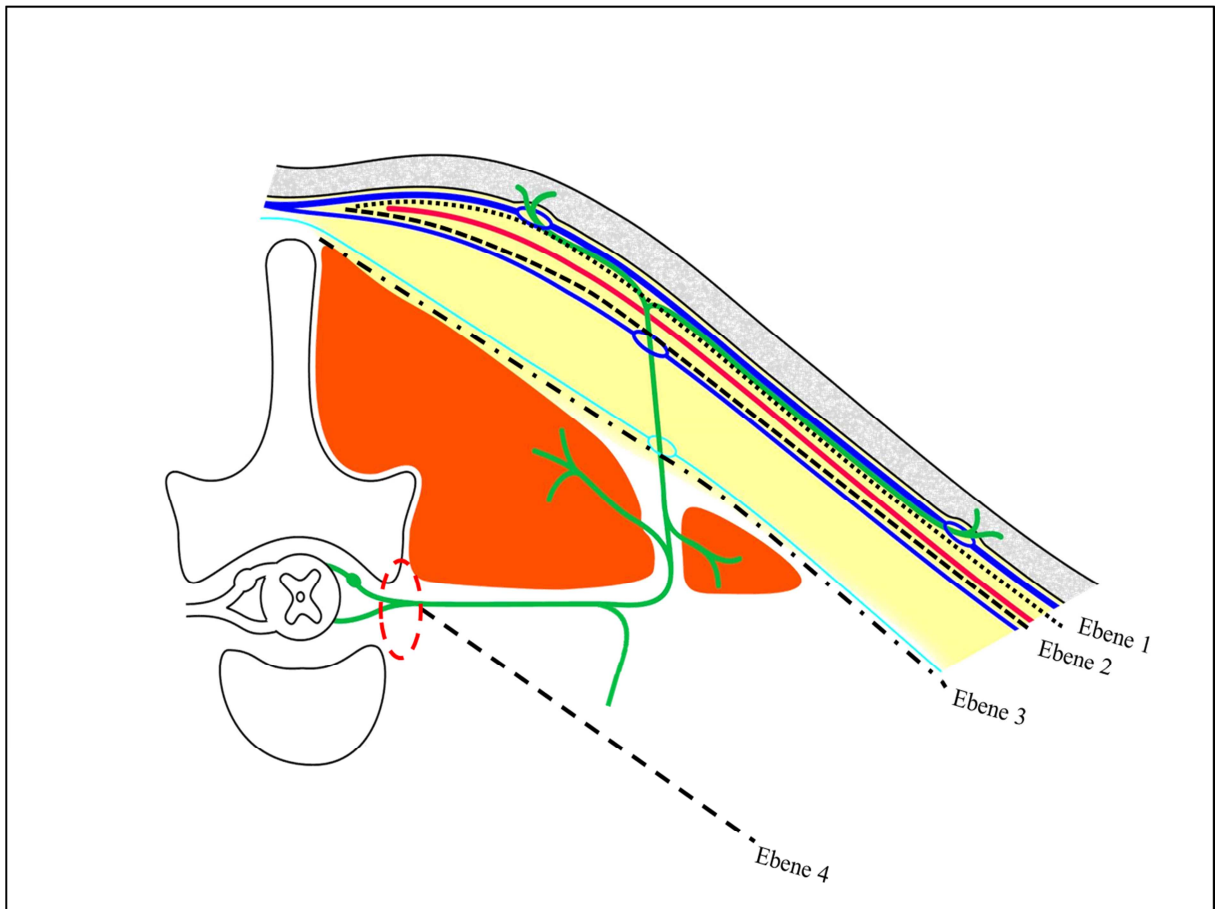


Abb. 3.1 Übersichtsdarstellung der Präparationsebenen modifiziert nach BERNIGAU (2013).

Ebene 1 (Haut): Eintritt der Rami dorsales in die Unterhaut

Ebene 2 (Faszie): Durchtritt der Rami dorsales durch die Fascia thoracolumbalis

Ebene 3 (Muskulatur): Durchtritt der Rami dorsales durch die Rückenmuskulatur

Ebene 4 (Forr. intervertebralia): Rami dorsales auf Höhe der Forr. intervertebralia

Die einzelnen Rückenbereiche der Lendenwirbel 1 bis 7, die Länge des Kreuzbeines und der Lendenwirbelsäule wurden gemessen und später zwischen den Tieren verglichen. Dafür wurde jedes Tier einzeln mit einem Maßband per Hand vermessen und die Werte dokumentiert. Die Beschreibung eines Rückenbereichs geschah nach der Definition von BERNIGAU (2013). Ein Rückenbereich lag zwischen dem Kranialende des vorderen und

dem Kranialende des folgenden Dornfortsatzes. Die Rückenbereiche der Lendengegend für L_w1 bis L_w6 befanden sich zwischen den Kranialenden der Dornfortsätze der aufeinanderfolgenden Lendenwirbel. Der Rückenbereich für L_w7 lag zwischen dem letzten lumbalen und dem ersten sakralen Dornfortsatz. Als Gesamtlänge der Wirbelsäule wurde eine Strecke zwischen der Protuberantia occipitalis externa und dem Spatium interarcuale coccygeale bestimmt. Die Schwanzwirbel blieben unbeachtet. Zudem wurde der Abstand zwischen der dorsalen Medianlinie und den Durchtrittsstellen der Nerven in den Ebenen 2 (Faszie) und 3 (Muskultur) für beide Körperseiten per Hand mit einem Lineal gemessen und dokumentiert (Abb. 3.4 und Abb. 3.6).

Am Ende der Präparation wurde die Schultergürtelmuskulatur durchtrennt und die Vordergliedmaße vom Tierkörper gelöst. Die Identifikation der ersten Rippe und eine nachfolgende Zählung der Vertebrae thoracicae ermöglichten den Nachweis einer identischen Anzahl von 13 Rippen bei allen Tieren.

Im Anschluss an die schichtweise Präparation wurde die symmetrische Verteilung der Nerven betrachtet. Es wurde die Ausprägung der Nerven auf beiden Körperseiten eines Tieres sowie der Tiere untereinander beurteilt und verglichen.

3.2.1 Ebene 1 – Haut

Die Hautäste der Rami dorsales wurden vorsichtig zwischen der Unterhaut und ihrem Durchtritt durch die Fascia thoracolumbalis präpariert. Dabei wurden das Unterhautfettgewebe und die faszialen Bindegewebszüge entfernt, bis die Hautäste der Rami dorsales vollständig makroskopisch sichtbar waren. Der M. cutaneus trunci wurde durchtrennt und zusammen mit der äußeren Haut nach lateral verlagert sowie gegebenenfalls mit Tuchhaken befestigt.

Die Eintrittspunkte der Rami dorsales in die Unterhaut wurden betrachtet und ihrem Rückenbereich zugeordnet. Diese Zuweisung geschah mithilfe eines Zentimetermaßstabs und einer gedachten Senkrechten zur Dorsomedianen bzw. zu den Dornfortsätzen der Wirbel. Dadurch war erkennbar, in welchem Rückenbereich der Wirbelsäule die Hautäste der Rami dorsales auf die (Unter-)Haut trafen (Abb. 3.2).

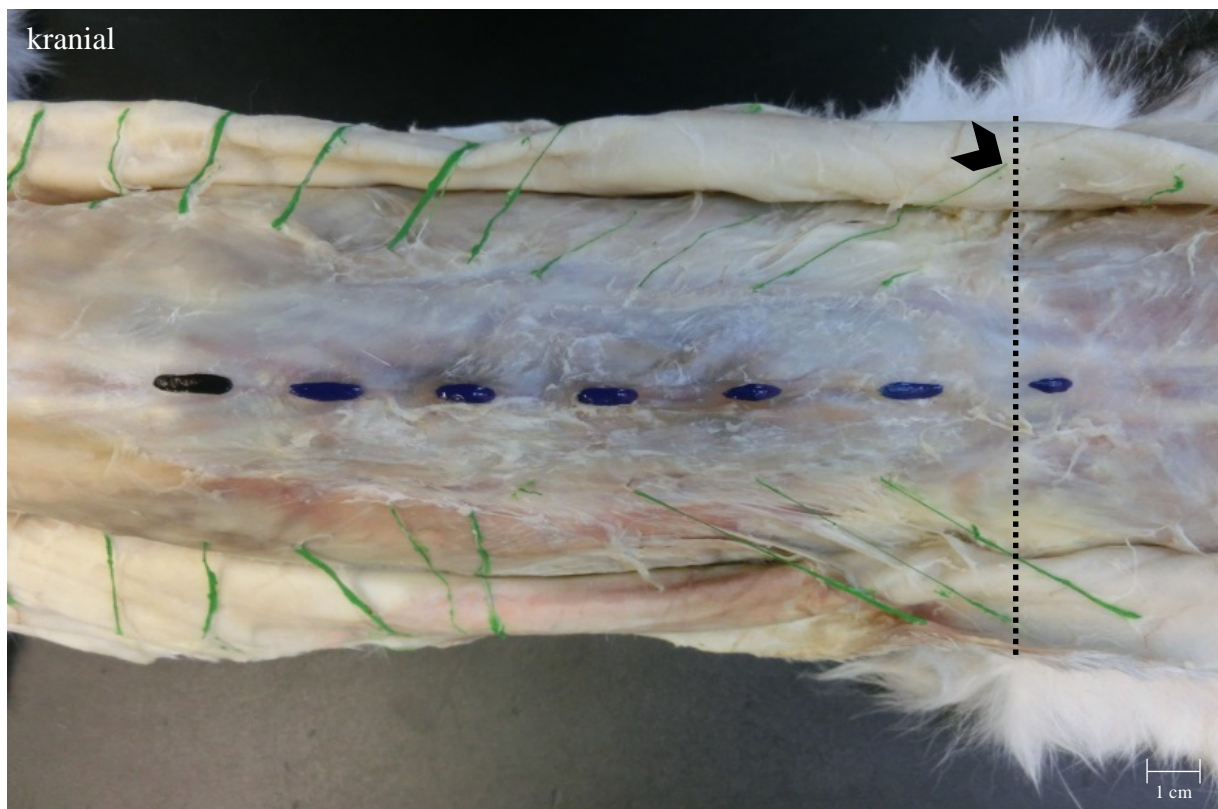


Abb. 3.2 Dorsalansicht Lendengegend der Katze 8 in Ebene 1.
 --- Senkrechte zur Dorsomedianen; ◀ Eintrittsstelle der Rami dorsales in die Unterhaut; ■ L_w1; ■ L_w2 bis L_w7; ■ Rami dorsales

3.2.2 Ebene 2 – Faszie

An die Datenerhebung der Ebene 1 angeschlossen wurde der Nervenverlauf bis zur Fascia thoracolumbalis verfolgt. Die Austrittspunkte aus der Fascia thoracolumbalis wurden mit einer feinen Pinzette frei präpariert und das den Nerv umhüllende Fettgewebe entfernt. Die Rückenbereiche für den Nervendurchtritt durch die Faszie wurden analog zur Ebene 1 (Haut) ermittelt (Abb. 3.3).

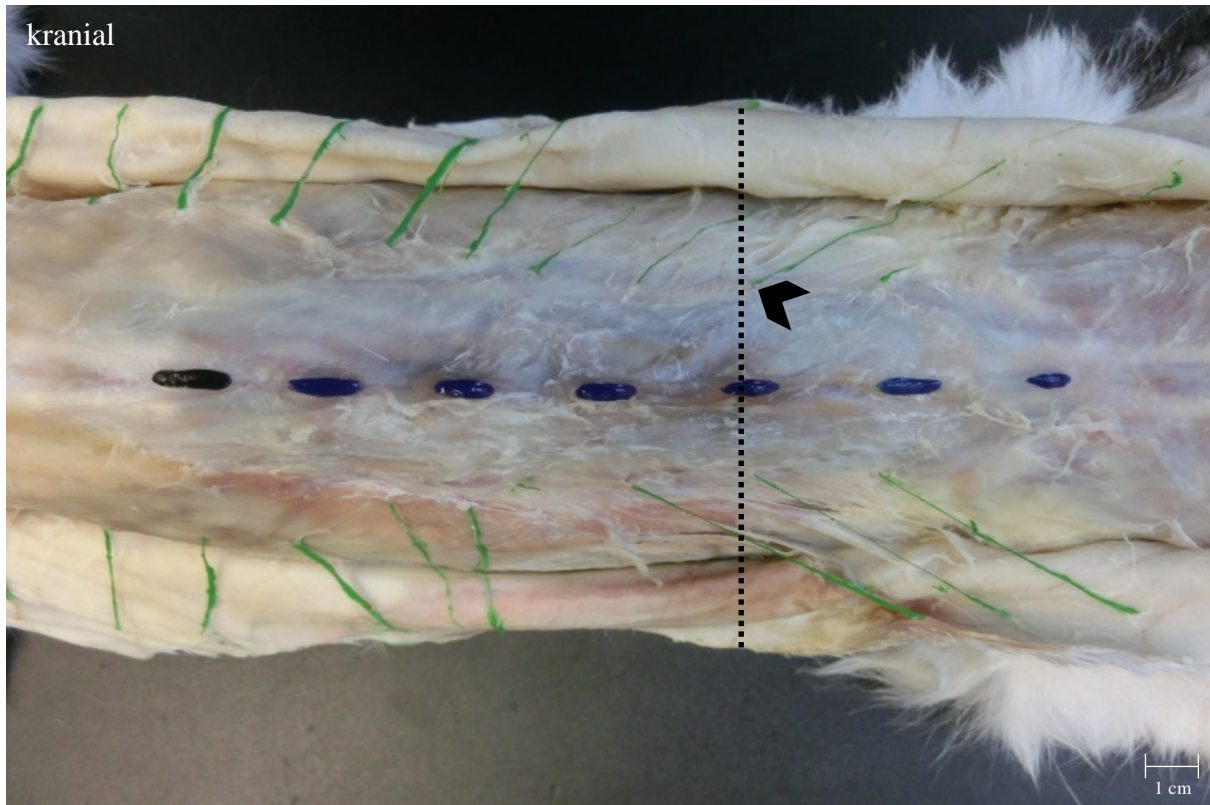


Abb. 3.3 Dorsalansicht Lendengegend der Katze 8 in Ebene 2.
 --- Senkrechte zur Dorsomedianen; ◀ Durchtrittsstelle der Rami dorsales durch die Faszie; ■ L_w1; ■ L_w2 bis L_w7; ■ Rami dorsales

Die Abb. 3.4 zeigt den Messbereich für den Abstand zwischen Ramus dorsalis und der Dorsomedianen.

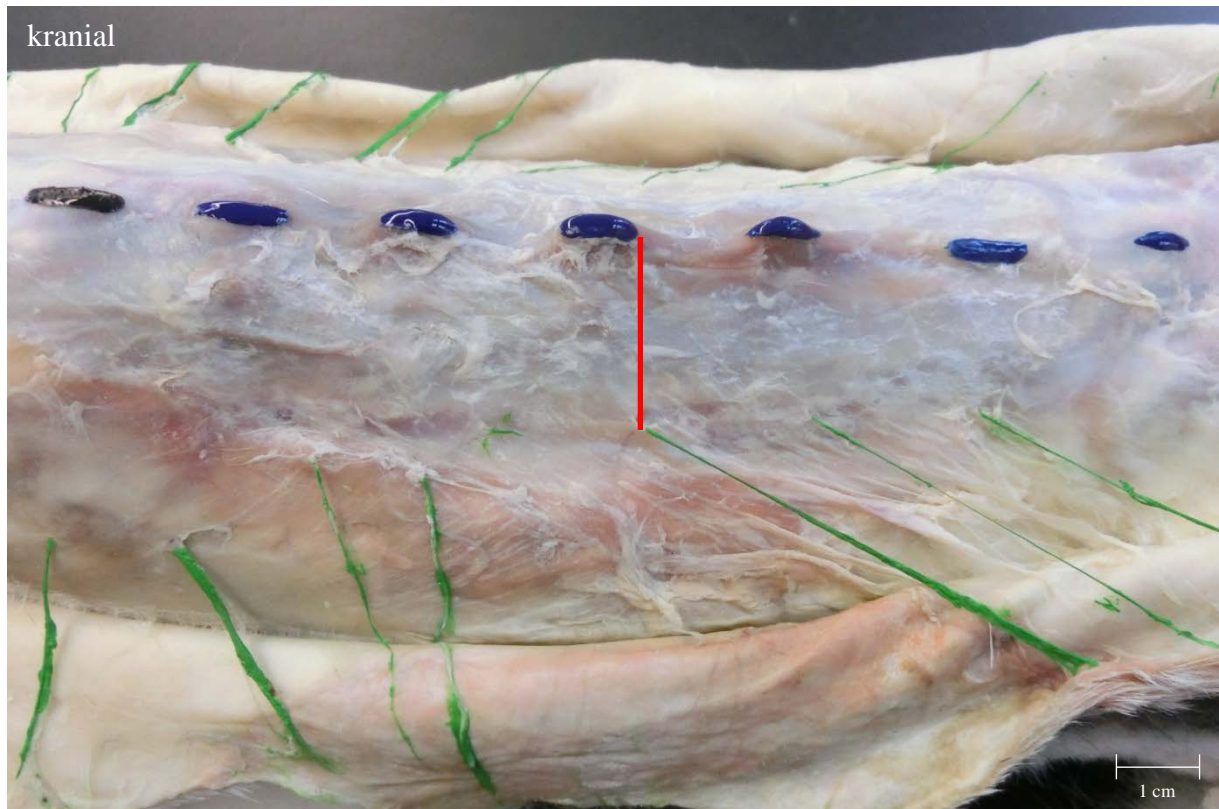


Abb. 3.4 Dorsalansicht Lendengegend der Katze 8 in Ebene 2.

— Abstand zur Dorsomedianen; ■ L_W1; ■ L_W2 bis L_W7; ■ Rami dorsales

3.2.3 Ebene 3 – Muskulatur

Für die Darstellung der Ebene 3 wurde die Fascia thoracolumbalis vorsichtig um die Nerven herum mit einem Skalpell abgetragen. Durch die Lage des M. longissimus dorsi und des M. trapezius thoracis über dem kranialen Anteil der Fascia thoracolumbalis mussten diese ebenfalls bis auf die epaxiale Stammuskulatur entfernt werden. Dies ermöglichte eine nähere Darstellung der Rückenmuskulatur in Ebene 3. Der Nervendurchtritt durch die Muskulatur wurde dem entsprechenden Rückenbereich zugeordnet (Abb. 3.5). In Abb. 3.6 werden die Punkte zur Vermessung des Abstandes zwischen der Dorsomedianen und den Nerven dargestellt.

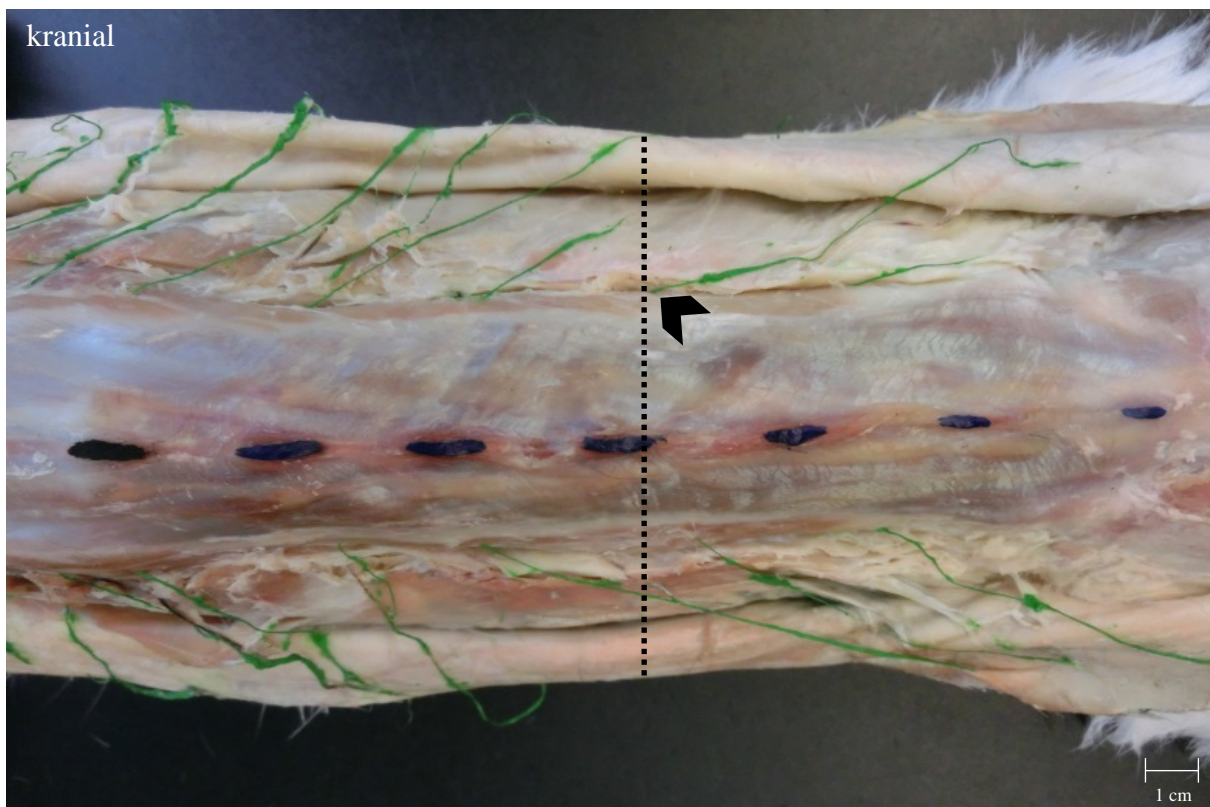


Abb. 3.5 Dorsalansicht Lendengegend der Katze 8 Ebene 3.
 ... Senkrechte zur Dorsomedianen; ◀ Durchtrittsstelle der Rami dorsales durch die Muskulatur; ■ L_w1; ■ L_w2 bis L_w7; ■ Rami dorsales

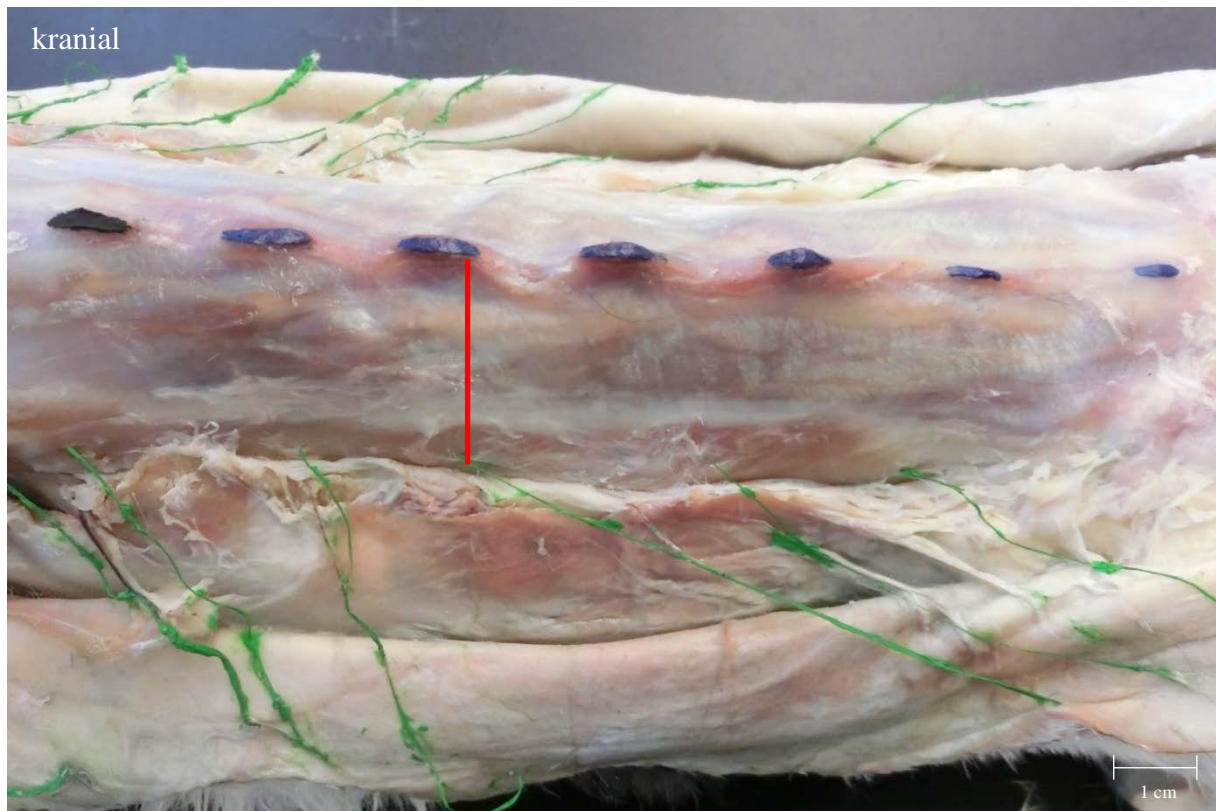


Abb. 3.6 Dorsalansicht Lendengegend der Katze 8 Ebene 3.
— Abstand zur Dorsomedianen; ■ L_w1; ■ L_w2 bis L_w7; ■ Rami dorsales

3.2.4 Ebene 4 – Foramina intervertebralia

Für Ebene 4 wurde die lange Rückenmuskulatur bis zur Wirbelsäule zwischen dem Kreuzbein und den Schulterblättern entfernt. Die Darstellung der sehr feinen Nervenäste war nur über eine faserweise Entfernung der umliegenden Muskulatur möglich. Die Präparation erfolgte mit zwei kleinen Pinzetten und einer Präparationslupe bis die Procc. transversi sowie die Forr. intervertebralia sichtbar waren. Dabei wurden die Nervenäste zur Innervation der Muskulatur durchtrennt. Durch die Präparation mit Entfernung der Muskulatur war eine genaue Zuordnung der Hautäste zu ihrem Ursprungsrückenbereich möglich (Abb. 3.7).

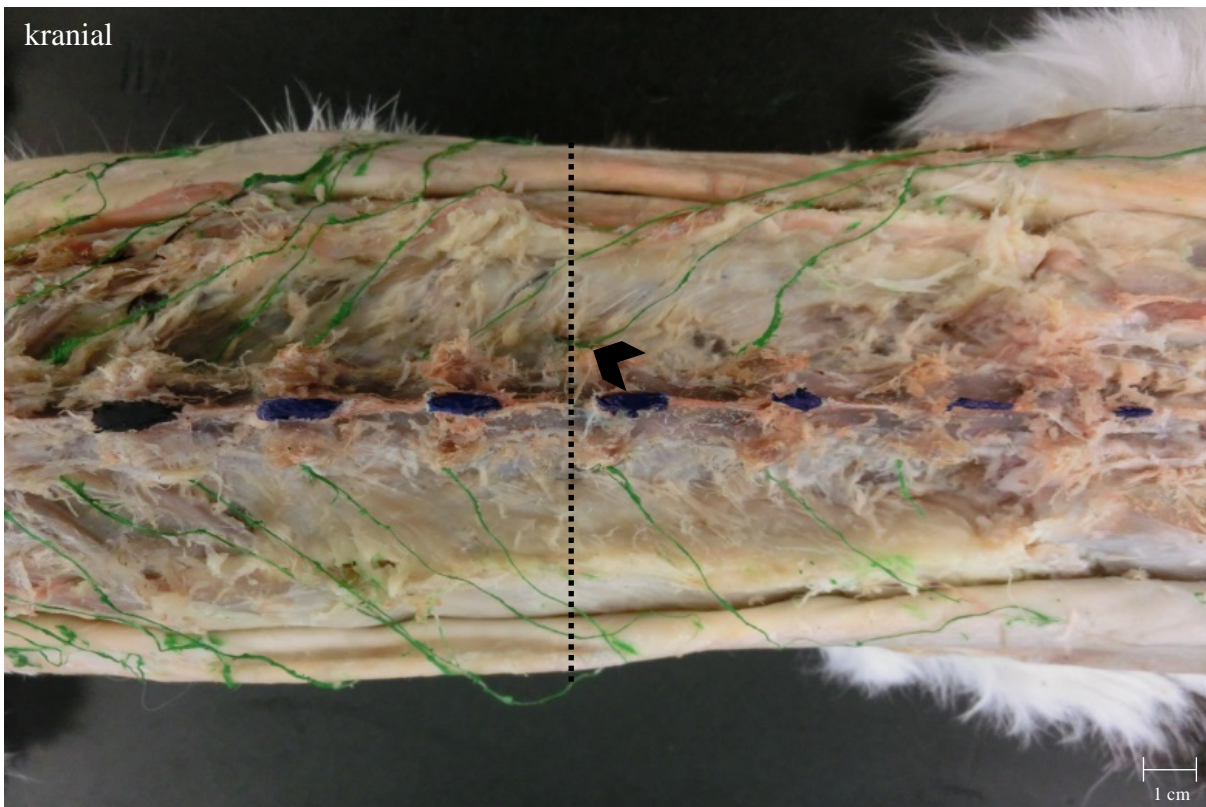


Abb. 3.7 Dorsalansicht Lendengegend der Katze 8 Ebene 4.
 ... Senkrechte zur Dorsomedianen; ◀ Austritt der Rami dorsales durch die Foramina intervertebralia; ■ L_w1; ■ L_w2 bis L_w7; ■ Rami dorsales

3.3 Bestimmung der paramedianen Verschiebung

Paramediane Verschiebung der einzelnen Rami dorsales zwischen den Ebenen

Die Differenz aus den ermittelten Abständen zwischen den Austrittspunkten der Rami dorsales und der Dorsomedianen für die Ebene 2 (Faszie) und 3 (Muskulatur) der einzelnen Spinalnerven wurde errechnet. Es diente zur Beurteilung der Nervenverlaufsrichtung eines Ramus dorsalis zwischen Muskulatur und Faszie in Richtung Haut (Abb. 3.8 a). Ein positives Ergebnis wurde als dorsale Verlaufsrichtung angesehen. Eine negative Differenz entsprach einem ventralen Nervenverlauf.

Paramediane Verschiebung zwischen den Rami dorsales in einer Ebene

Die Abstände der Durchtrittsstellen durch die Ebene 2 (Faszie) sowie 3 (Muskulatur) der Rami dorsales und der dorsalen Medianlinie wurden untereinander für die jeweilige Körperseite verglichen (Abb. 3.8 b). Es wurde beurteilt, ob der jeweils nachfolgende Ramus dorsalis weiter ventral oder dorsal durch die Ebene 2 (Faszie) bzw. Ebene 3 (Muskulatur) als der vorhergehende Ramus dorsalis trat. Es gab Aufschluss über die paramediane Verschiebung der Rami dorsales innerhalb der Ebene.

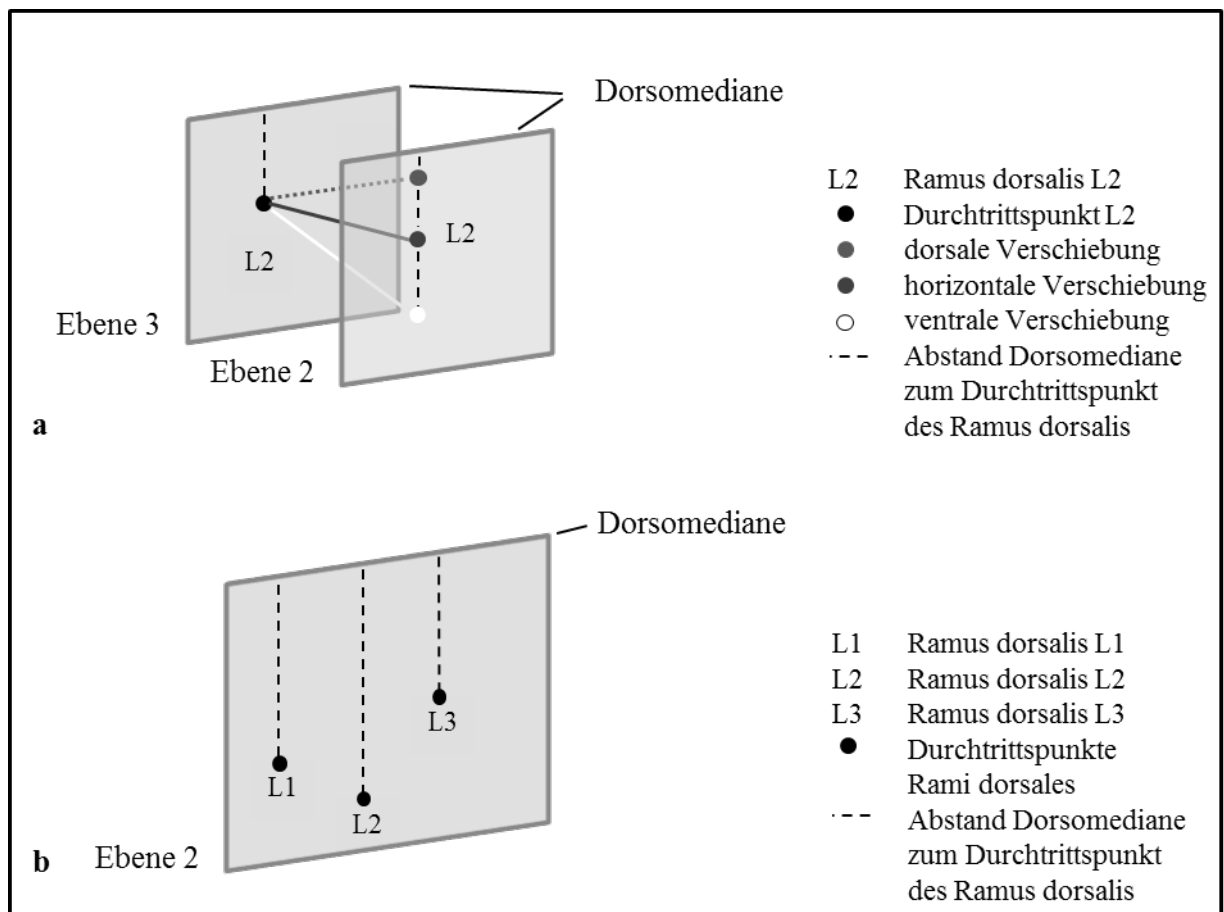


Abb. 3.8 Schematische Darstellung der paramedianen Verschiebung.

a Paramediane Verschiebung der einzelnen Rami dorsales zwischen den Ebenen

b Paramediane Verschiebung zwischen den Rami dorsales einer Ebene

3.4 Ermittlung der Kaudalverschiebungsindizes

Der Kaudalverschiebungsindex (KVI) gibt Aufschluss über die zurückgelegte Strecke eines Nerven von seinem Austritt aus dem Wirbelkanal, durch die Ebenen bis zu seinem Eintritt in die Haut. Er wurde von BERNIGAU (2013) definiert; siehe Kap. 2.2.4.2.

Als Grundlage für die Berechnung der einzelnen KVI diene die Formel von BERNIGAU (2013). Die Kaudalverschiebungsindizes wurden für die einzelnen Tiere sowie für die einzelnen Spinalnerven auf dieser Grundlage ermittelt. Jede Ebene besaß einen eigenen KVI. Als Ausgangspunkte dienten die Forr. intervertebralia. Zuerst wurde für jeden

einzelnen Nerven der individuelle KVI_i sowohl für die linke als auch die rechte Körperseite für alle Ebenen ermittelt. Da sich während der Präparation Abweichungen der Wirbelsäule von Katze 7 zeigten, wird diese deskriptiv beschrieben und nicht in die Berechnung einbezogen.

Für diese Berechnungen galt:

Kaudalverschiebung (x):

$$x_{ij} = b_{ij} - \overline{a_{ij}}$$

a_{ij} = Rückenbereich auf Ebene der Haut/Fascia thoracolumbalis/langen Rückenmuskulatur, in dem der Spinalnerv (i) bei der jeweiligen Katze (j) im thorakolumbalen Bereich die Haut erreicht.

b_{ij} = Rückenbereich auf Ebene der Forr. intervertebralia, aus dem der Spinalnerv (i) der jeweiligen Katze (j) entspringt.

i = 1 (Th9), ... , 12 (L7)

j = 1, ... , 14

Der KVI_i jedes einzelnen Nerven wurde für die 14 Tiere ermittelt. Die KVI_i des jeweiligen Nerven wurden summiert und durch die Anzahl der einbezogenen Nerven dividiert. Daraus berechnete sich ein Mittelwert der KVI_i für diesen bestimmten Spinalnerven. Es wurden die KVI_i der Spinalnerven Th9 bis L7 für die Haut (KVI_i -H), die Faszie (KVI_i -F) und die Muskulatur (KVI_i -M) bestimmt.

Kaudalverschiebungsindex des jeweiligen Spinalnerven (KVI_i):

$$KVI_i = \frac{\sum_{j=1}^{14} x_{ij}}{z_{ij}}$$

z_{ii} = Anzahl der Katzen (j), die im Thorakolumbalbereich den jeweiligen die Haut innervierenden Spinalnerven (i) aufwiesen.

i = 1 (Th9), ... , 12 (L7)

j = 1, ... , 14

Die KVI_i -H der Spinalnerven gaben Aufschluss über die Innervationsbereiche für die Katzen 1 bis 15 (exklusive Katze 7). Für die grafische Darstellung wurden nur die Lendennerven L1 bis L7 betrachtet, da dieser Bereich vollständig für alle Tiere dargestellt werden konnte.

Kaudalverschiebungsindex der jeweiligen Katze (KVI_j):

$$KVI_j = \frac{\sum_{i=1}^{12} x_{ij}}{y_{ij}}$$

y_{ij} = Anzahl der die Haut im Thorakolumbalbereich innervierenden Spinalnerven (i) bei der jeweiligen Katze (j)

i = 1 (Th9), ... , 12 (L7)

j = 1, ... , 14

Der Kaudalverschiebungsindex des einzelnen Tieres wurde aus der Summe der KVI_j einer Ebene berechnet. Die KVI_j aller Spinalnerven in einer Ebene wurden addiert und später durch ihre Anzahl dividiert. Es ergab sich ein Mittelwert der KVI_j der Spinalnerven für jede Ebene. Dadurch resultierten die KVI_j-H, KVI_j-F und KVI_j-M für jede Katze.

3.5 Korrelation zwischen der Länge der Lendenwirbelsäule und den Kaudalverschiebungsindizes

Es wurde mithilfe eines Korrelationskoeffizienten r ermittelt, ob ein Zusammenhang zwischen der Länge der Lendenwirbelsäule und den Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Tiere bestand. Die Länge der Lendenwirbelsäule ergab sich aus den mittleren Werten der Freihandmessung der Lendenwirbelsäulenlänge und der Summe der einzelnen Rückenbereiche L1 bis L7. Für die Korrelation wurden nur die KVI_j der Lendennerven L1 bis L7 herangezogen. Die Bewertung der Korrelation erfolgte nach JAKOB (2002); Tab. 3.1.

Tab. 3.1 Bewertungsschema des Korrelationskoeffizienten r modifiziert nach JAKOB (2002).

Korrelationskoeffizient r	Interpretation
um ± 0	keine Korrelation
bis $\pm 0,2$	sehr geringe Korrelation
bis $\pm 0,5$	geringe Korrelation
bis $\pm 0,7$	mittlere Korrelation
bis $\pm 0,9$	hohe Korrelation
über $\pm 0,9$	sehr hohe Korrelation

Weiterhin wurde das Bestimmtheitsmaß R^2 für die KVI_j-H, KVI_j-F und KVI_j-M ermittelt. R^2 ergibt sich aus dem quadrierten Korrelationskoeffizienten r . Die Angabe erfolgte in Prozent (%) und gab Aufschluss über die Stärke des linearen Zusammenhangs. Je größer der R^2 - Wert zwischen 0 und 1 war, desto größer war der lineare Zusammenhang. Geringe R^2 - Werte um 0 zeigten keine Korrelation, R^2 - Werte bis 0,5 eine mittlere Korrelation und R^2 - Werte über 0,9 eine hohe Korrelation.

3.6 Computertomografische Messungen

Nach dreitägiger Fixation wurden bei 13 Tieren Aufnahmen mit einem Computertomografen der Firma Philips Mx 8000 IDT helikal in der Chirurgischen Tierklinik der Veterinärmedizinischen Fakultät Leipzig angefertigt. Der Untersuchungsbereich lag zwischen dem Schulterblatt und dem Kreuzbein. Für die CT-Aufnahmen wurden eine Schichtdicke von 1 mm, ein Schichtabstand von 0,5 mm und eine Bildmatrix von 512x512 verwendet. Die Tiere wurden in Brustlage mit dem Kopf in Tischvorschubrichtung gescannt.

Die CT-Daten dienten der Längenermittlung einzelner Lendenwirbel und der Lendenwirbelsäule. Für die Messungen an der Wirbelsäule wurde die Software ImageJ (Vers. 1.49v, National Institutes of Health, USA) verwendet. Die Messung erfolgte in der laterolateralen und dorsoventralen CT-Übersichtsdarstellung. Die Längenmessungen der Lendenwirbelsäule verliefen zwischen dem Kranialende des ersten und dem Kaudalende des letzten Lendenwirbels. Für die Einzelmessungen der Wirbel lag der Messbereich zwischen dem kranialen und dem kaudalen Ende des jeweiligen Wirbelkörpers. Aus den Messwerten wurde im Anschluss ein Mittelwert gebildet und mit den Ergebnissen der Freihandmessung verglichen. Für die Bestimmung der Normalverteilung wurde mit IBM SPSS Statistics (Vers. 22.0.0.0, IBM Corporation) ein Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung der Messwerte durchgeführt. Anschließend wurde mit Microsoft Excel 2010 (Vers. 14.0.7147.5000, Microsoft Corporation) ein Bland-Altman Plot erstellt. Die Ermittlung der Pearson Korrelation für die Daten der beiden Messmethoden erfolgte durch die Software R (Vers. 3.2.4, R Foundation).

Mithilfe der Software Programme MeVisLab (Vers. 2.3.1, MeVis Medical Solutions AG, Bremen, Deutschland) und ParaView (Vers. 4.1.0, Sandia Corporation, Kitware Inc., Clifton Park, NY, USA) wurde eine dreidimensionale Rekonstruktion der Lendenwirbelsäule erstellt. Dadurch war ein morphologischer Vergleich der Wirbelkörper der Katzen untereinander möglich.

4 Ergebnisse

Für die vorliegende Dissertation wurden 15 Katzen in vier Ebenen präpariert und der Verlauf ihrer Rami dorsales am Rumpf untersucht. Ein Tier wird lediglich deskriptiv beschrieben, da es aufgrund einer auf sechs Lendenwirbel reduzierte LWS nicht in die vergleichende Untersuchung einbezogen wurde. Dieses Tier heißt im Folgenden Katze 7 und wird in Kap. 4.5 näher dargestellt. Der Untersuchungsbereich schloss die Rami dorsales der Spinalnerven Th9 bis L7 ein. Die gewonnen Daten gaben Aufschluss über den Nervenverlauf der Rami dorsales auf beiden Körperseiten. Zunächst werden die Charakteristik und der Verlauf der Nervenäste und ihre verschiedenen Kaudalverschiebungsindizes betrachtet. Anschließend folgen die innervierten Hautbereiche und ihre Verteilung an der Körperoberfläche.

4.1 Charakteristik des Nervenverlaufs

Im Untersuchungsbereich waren die Rami dorsales fast vollzählig bei allen Katzen ausgebildet. Die Anzahl schwankte zwischen neun und elf Hautnerven pro Körperseite (Tab. 4.1). Der Ramus dorsalis L6 konnte bei keiner Katze nachgewiesen werden. Teilweise wurden die fehlenden Hautäste der Rami dorsales durch Hautäste der Rami ventrales ersetzt. Diese traten auf gleicher Höhe wie die Rami dorsales durch die Fascia thoracolumbalis und in die Haut ein (Tab. 4.1). Bei einer Katze wurden Rami dorsales mit einem dorsalen Verlauf zur Medianlinie festgestellt. Diese befanden sich auf der linken Körperseite der Katze 2. Die Abb. 4.4 zeigt ihren Verlauf in Ebene 2 (Faszie).

4.1.1 Seitenvergleich und Symmetrie der Rami dorsales

Im Weiteren werden das Vorkommen, die Verteilung und die Symmetrie ausgehend von ihrem Ursprung für die Rami dorsales der Spinalnerven Th9 bis L7 der einzelnen Katzen besprochen. Die Verteilung und das Vorkommen aller Spinalnerven Th9 bis L7 der Katzen 1 bis 15 sind in Tab. 4.1 aufgeführt. Die Ergebnisse der Katze 7 werden im Kap. 4.5 näher beschrieben.

Ramus dorsalis Th9

Die Rami dorsales des Lendennerven Th9 waren bei allen Katzen vorhanden. Bei der Katze 9 war er nur auf der rechten Seite und bei der Katze 13 nur auf der linken Seite zu beobachten.

Ramus dorsalis Th10

Die Rami dorsales aus dem Ursprungsrückenbereich Th10 wurden bei allen Katzen nachgewiesen. Einzig die Katze 4 besaß diesen Nervenast nur auf der linken Seite.

Ramus dorsalis Th11

Bei der Katze 9 war der Ramus dorsalis Th11 nur auf der linken und bei Katze 13 nur auf der rechten Körperseite ausgebildet. Bei den weiteren Tieren wurden die Rami dorsales beidseitig vorgefunden.

Ramus dorsalis Th12

Bei allen Katzen konnte ein Ramus dorsalis aus dem Rückenbereich Th12 präpariert werden. Bei Katze 15 ließ er sich nur auf der linken Körperseite darstellen. Katze 10 besaß zusätzlich im Rückenbereich Th12 beidseitig Rami ventrales.

Ramus dorsalis Th13

Die Rami dorsales mit Ursprung im Bereich Th13 zeigten sich bei allen Tieren. Für die Katze 10 wurde nur ein Ramus dorsalis auf der rechten Seite nachgewiesen. Für die Katze 15 wurde ein Ramus dorsalis auf der linken Seite festgestellt. Auf der rechten Seite befand sich bei der Katze 15 ein Ramus ventralis in diesem Rückenbereich.

Ramus dorsalis L1

Bei allen Katzen war beidseits ein Ramus dorsalis des Lendennerven L1 ausgebildet.

Ramus dorsalis L2

Der Ramus dorsalis L2 war ebenfalls bei allen Katzen vorhanden. Zusätzlich wurde auf der rechten Körperseite ein Ramus ventralis bei Katze 2 festgestellt.

Ramus dorsalis L3

Es wurde für jede Katze ein Ramus dorsalis des Lendennerven L3 auf beiden Körperseiten nachgewiesen. Katze 2 besaß einen Ramus ventralis auf der rechten Körperseite auf Mitte des Rumpfes.

Ramus dorsalis L4

Bis auf Katze 6 wiesen alle Tiere den Ramus dorsalis L4 auf. Bei Katze 15 war er nur linksseitig ausgebildet.

Ramus dorsalis L5

Die Katzen 1, 2, 4, 10 und 11 besaßen beidseitig einen Ramus dorsalis L5. Bei Katze 5 war die Darstellung nur auf der rechten und bei Katze 12 auf der linken Seite möglich. Für die anderen Katzen wurden keine Hautäste nachgewiesen.

Ramus dorsalis L6

Der Nachweis eines Ramus dorsalis L6 war für keine der Katzen möglich. Es konnten auch keine Nervenäste zur Innervation der Muskulatur während der Präparation dargestellt werden.

Ramus dorsalis L7

Katze 1, 9 und 10 wiesen diesen Ramus dorsalis auf beiden Seiten auf. Bei Katze 2, 5 und 14 konnte er nur auf der rechten Körperseite dargestellt werden. Katze 4 zeigte einen Ramus dorsalis auf der linken Seite.

Die nachfolgenden Fotografien zeigen am Beispiel der Katze 3 die symmetrische Verteilung der Rami dorsales auf der linken und rechten Körperseite in den verschiedenen Ebenen (Abb. 4.1 bis Abb. 4.3).

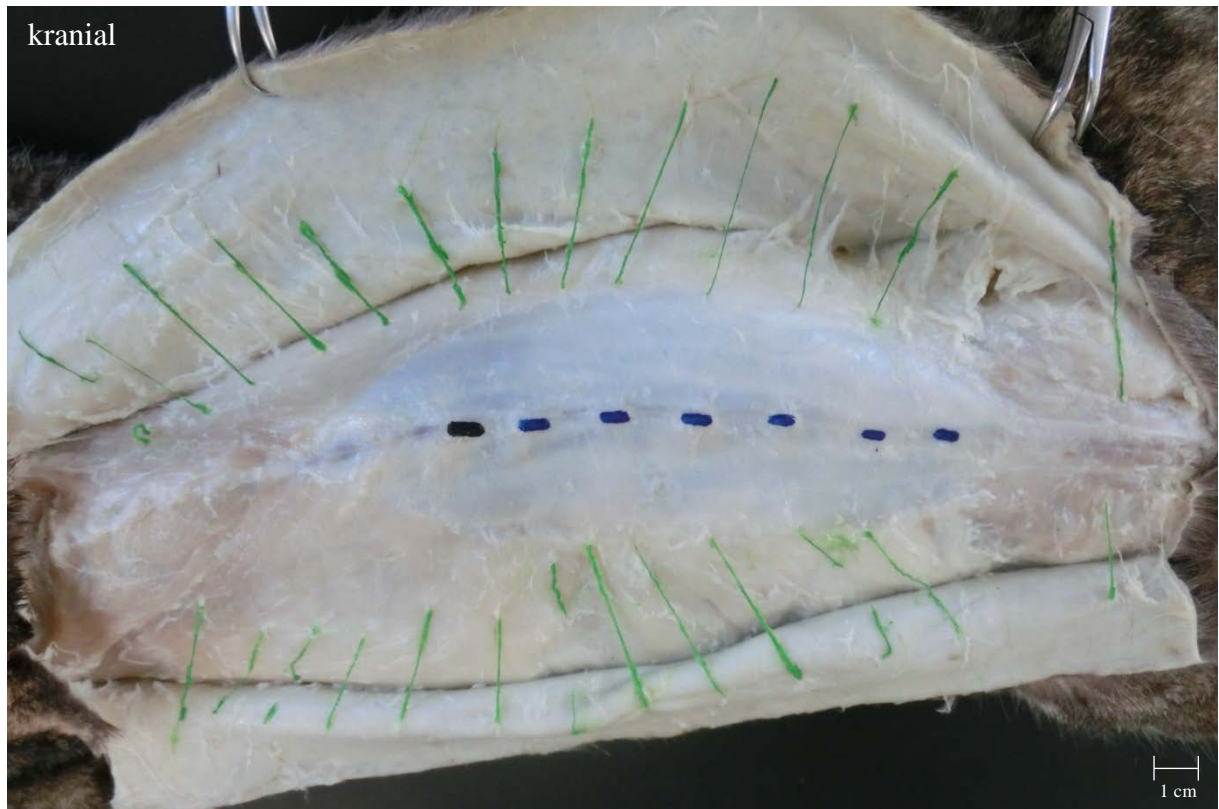


Abb. 4.1 Nervenverlauf der Katze 3 in Ebene 1 (Haut) und 2 (Faszie).

■ L_w1; ■ L_w2 bis L_w7; ■ Rami dorsales

Die Rami dorsales Th9 bis L4 waren bei Katze 3 beidseits vorhanden und erreichten die Unterhaut (Abb. 4.1). Die Hautäste der Rami dorsales L5, L6 und L7 fehlten auf beiden Seiten.



Abb. 4.2 Nervenverlauf der Katze 3 in Ebene 3 (Muskulatur).

■ L_w1; ■ L_w2 bis L_w7; ■ Rami dorsales

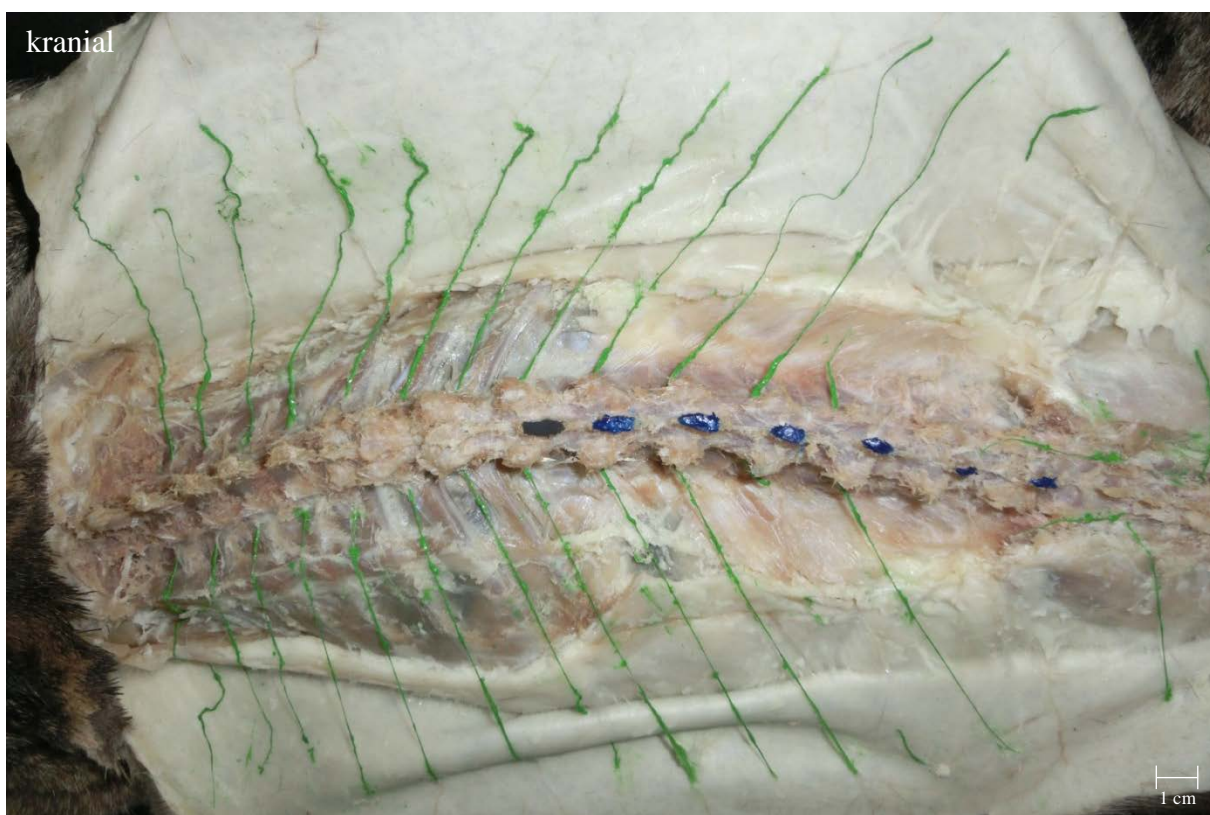


Abb. 4.3 Nervenverlauf der Katze 3 in Ebene 4 (Forr. intervertebralia).

■ L_w1; ■ L_w2 bis L_w7; ■ Rami dorsales

Besonderheiten

Bei Katze 2 verliefen die Rami dorsales aus den Bereichen Th11 bis L3 auf der rechten Seite in Richtung der dorsalen Medianlinie zur Haut. Die Rami dorsales Th11, Th12 und Th13 teilten sich in Ebene 2 (Faszie) auf Höhe der Fascia thoracolumbalis in den Ramus cutaneus lateralis und Ramus cutaneus medialis (Abb. 4.4). Vor dem Durchtritt durch die Fascia thoracolumbalis verliefen sie gemeinsam als Ramus lateralis des Ramus dorsalis durch die Ebene 3 (Muskulatur); Abb. 4.5 a. Die Abb. 4.5 a und b zeigen die Aufspaltung der Rami dorsales Th11 und Th12 in den medialen und lateralen Hautast. Die Rami dorsales L1 bis L3 zogen ohne vorherige Trennung dorsal. Der dorsomediane Verlauf der Rami dorsales sowie die Spaltung in die Rami cutanei mediales und laterales wurden nur bei Katze 2 beobachtet.

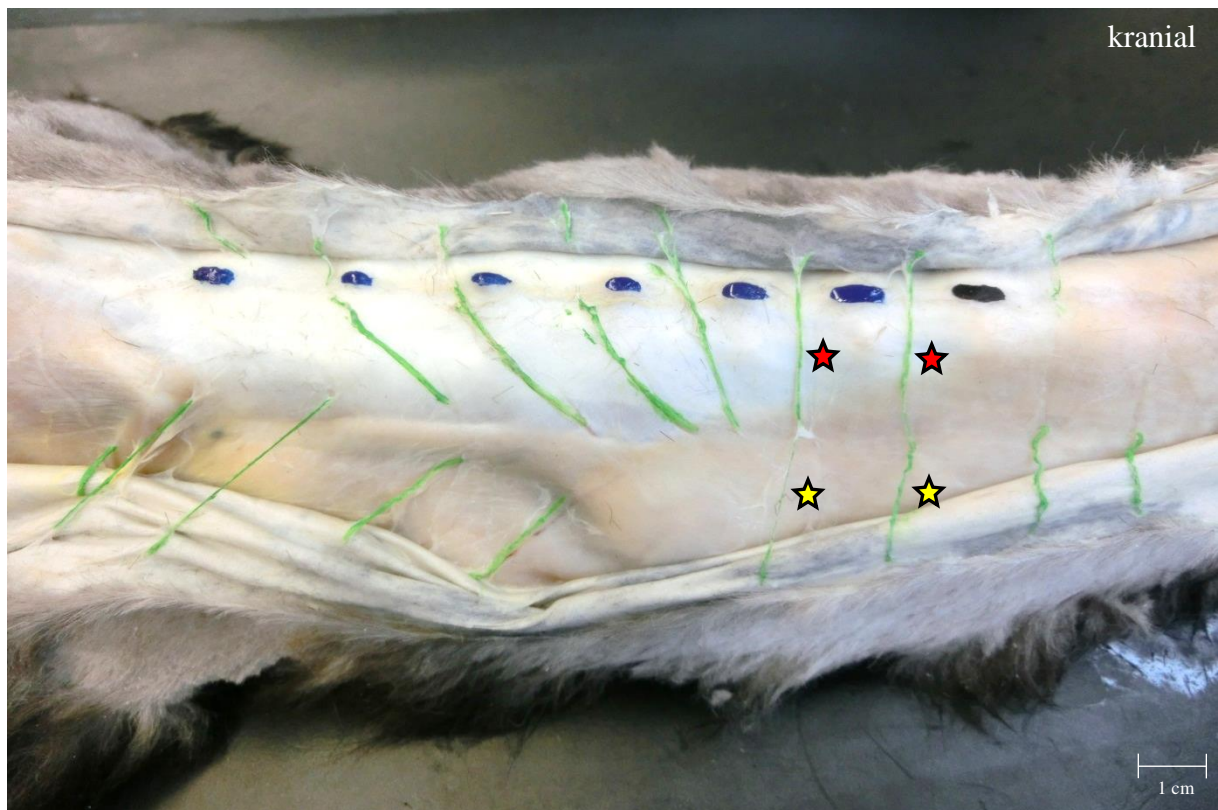


Abb. 4.4 Rami dorsales der rechten Körperseite von Katze 2 in Ebene 2 (Faszie).
 ■ L_w1; ■ L_w2 bis L_w7; ■ Rami dorsales; ★ Rami cutanei mediales;
 ★ Rami cutanei laterales

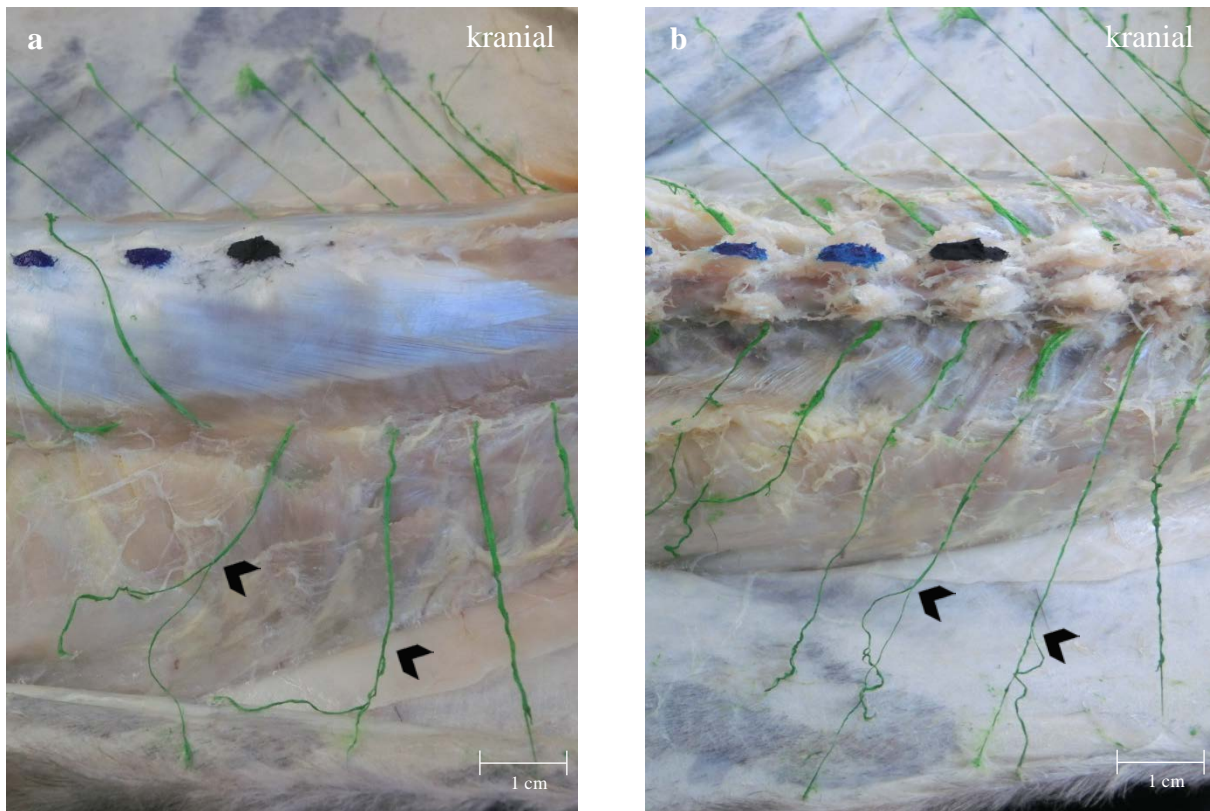


Abb. 4.5 Aufteilung der Rami dorsales Th11 und Th12 in die Rami cutanei mediales und laterales der rechten Seite der Katze 2.

a Ebene 3 (Muskulatur), **b** Ebene 4 (Forr. intervertebralia);

■ L_w1; ■ L_w2 bis L_w7; ■ Rami dorsales; ➤ Aufzweigung

Zusammenfassend dargestellt fanden sich starke Unregelmäßigkeiten in der Nervensymmetrie vor allem bei den Katzen 4, 9, 12, 13, 14 und 15. Dort waren Nerven teilweise nur einseitig ausgebildet.

Die zudem erwähnten Rami ventrales fielen durch ihren gemeinsamen Nervenverlauf mit den Rami dorsales auf. Daher wird ihr Verlauf im Folgenden hier kurz beschrieben.

Sie traten auf gleicher Höhe mit den Rami dorsales durch die Fascia thoracolumbalis und in die Unterhaut ein. Erst in Ebene 4 (Forr. intervertebralia) konnten sie als Rami ventrales identifiziert werden

Die Rami ventrales aus L2 und L3 der Katze 2 innervierten die Haut der rechten Körperseite in den Rückenbereichen L5 und L6 auf der mittleren Rumpflinie. Diese Rückenbereiche wurden zudem durch die Rami dorsales L1 und Th13 innerviert.

Der Ramus ventralis Th12 der Katze 10 trat auf der rechten Körperseite im Rückenbereich L2 in die Unterhaut ein, der Ramus dorsalis Th12 bereits im Rückenbereich L1. Auf der linken Körperseite innervierte der Ramus ventralis Th12 den Rückenbereich L1 und der Ramus dorsalis Th 12 den Rückenbereich L2.

Bei der Katze 15 verlief der rechte Ramus ventralis entsprechend dem linken Ramus dorsalis aus dem Bereich Th13. Beide traten in den Rückenbereichen L3 der jeweiligen Seite in die Unterhaut ein.

Ergebnisse

Tab. 4.1 Symmetrie der Spinalnerven der Katzen 1 bis 15 für die linke und rechte Körperseite in Ebene 4 (Forr. intervertebralia) .

	<i>Th9</i>	<i>Th10</i>	<i>Th11</i>	<i>Th12</i>	<i>Th13</i>	<i>L1</i>	<i>L2</i>	<i>L3</i>	<i>L4</i>	<i>L5</i>	<i>L6</i>	<i>L7</i>
<i>Katze 1</i>	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	—	bds
<i>Katze 2</i>	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds RV re	bds RV re	bds	bds	—	rechts
<i>Katze 3</i>	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	—	—	—
<i>Katze 4</i>	bds	links	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	—	links
<i>Katze 5</i>	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	rechts	—	rechts
<i>Katze 6</i>	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	—	—	—	—
<i>Katze 7</i>	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	links	—	rechts RV re	/
<i>Katze 8</i>	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	—	—	—
<i>Katze 9</i>	rechts	bds	links	bds	bds	bds	bds	bds	bds	—	—	bds
<i>Katze 10</i>	bds	bds	bds	bds RV bds	rechts	bds	bds	bds	bds	bds	—	bds
<i>Katze 11</i>	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	—	—
<i>Katze 12</i>	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	links	—	—
<i>Katze 13</i>	links	bds	rechts	bds	bds	bds	bds	bds	bds	—	—	—
<i>Katze 14</i>	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	bds	—	—	rechts
<i>Katze 15</i>	bds	bds	bds	links	links RV re	bds	bds	bds	links	—	—	—

bds: beidseits, links: linke Seite, rechts: rechte Seite; RV re: Ramus ventralis rechts, RV li: Ramus ventralis links, RV bds: Ramus ventralis beidseits, — nicht vorhanden, / nicht ausgebildet

Verlauf der Rami dorsales

Zwischen dem Austrittspunkt aus der Ebene 3 (Muskulatur) und dem Durchtrittspunkt durch die Ebene 2 (Faszie) legte ein Ramus dorsalis im Mittel einen Zentimeter in kaudaler Richtung zurück. Im kranialen Körperbereich zogen die Rami dorsales nach ihrem Durchtritt durch die Fascia profunda der Fascia thoracolumbalis zusätzlich durch den M. latissimus dorsi. Im Bereich der Vordergliedmaße perforierten sie zudem den M. trapezius. In diesen Regionen beschränkten die Nervenäste eine zusätzliche Wegstrecke von durchschnittlich einem Zentimeter zwischen den einzelnen Perforationsstellen in kaudaler Richtung (siehe Anhang, Abb. 9.44 bis Abb. 9.46).

Die Spinalnerven L1 bis L5 und L7 wiesen eine starke Verästelung nach dem Austritt aus dem Foramen intervertebrale auf. Mehrere sich in der Muskulatur verzweigende Äste konnten von den Rami laterales der Rami dorsales abgegrenzt werden (siehe Anhang, Abb. 9.43). Ein Ramus intermedius konnte innerhalb der Nervenäste nicht identifiziert werden.

4.1.2 Paramediane Verschiebung der Rami dorsales

Paramediane Verschiebung der einzelnen Rami dorsales zwischen den Ebenen

Die paramediane Verschiebung der einzelnen Rami dorsales der Spinalnerven L1 bis L7 wurde zwischen der Ebene 2 (Faszie) und 3 (Muskulatur) betrachtet. Dabei wurden sowohl dorsale und ventrale Verlaufsrichtungen der Nerven als auch Verlaufsrichtungen in der Horizontalebene von Muskulatur zur Faszie beobachtet.

Ramus dorsalis L1 – Linke Seite

Auf der linken Seite verlief der Ramus dorsalis L1 bei den Katzen 1, 2, 5, 6, 9, 10 und 15 von Ebene 3 (Muskulatur) zu Ebene 2 (Faszie) dorsal. Die Katzen 3, 4 und 11 bis 14 zeigten eine ventrale Verlaufsrichtung. Für die Katze 8 verblieb der Ramus dorsalis L1 auf gleicher Höhe.

Ramus dorsalis L1 – Rechte Seite

Auf der rechten Seite verlief der Nervenast L1 bei den Katzen 4 bis 9 und 15 dorsal. Bei den Katzen 1, 3, 10 bis 12 und 14 nahm der Ramus dorsalis L1 eine ventrale Verlaufsrichtung an. Der paramediane Abstand war für die Katze 13 in Ebene 2 (Faszie) und 3 (Muskulatur) gleich. Der rechte Ramus dorsalis des Lendennerven L1 der Katze 2 war ein medianer Hautast und der paramediane Verlauf wurde nicht betrachtet.

Ramus dorsalis L2 – Linke Seite

Der Ramus dorsalis L2 verlief auf der linken Seite bei den meisten Tieren dorsal. Nur die Rami dorsales der Katzen 5 und 11 zeigten einen ventralen Verlauf. Für die Katzen 8, 10 und 14 blieb der paramediane Abstand in beiden Ebenen gleich. Die Katze 12 hatte linksseitig keinen Ramus dorsalis L2 ausgebildet.

Ramus dorsalis L2 – Rechte Seite

Auf der rechten Seite konnte bei Katze 1, 3 und 11 ein ventraler Verlauf beobachtet werden. Bei den übrigen Tieren verlief der Nervenast L2 dorsal. Die Durchtrittshöhen des L2 rechts blieben bei den Katzen 5, 9, 12 und 13 in Ebene 2 (Faszie) und 3 (Muskulatur) unverändert. Der Ramus dorsalis L2 der Katze 2 war ebenfalls ein medianer Hautast und der paramediane Verlauf wurde nicht betrachtet.

Ramus dorsalis L3 – Linke Seite

Der Nervenast L3 zeigte für die Katzen 1 bis 4, 6, 13 und 15 einen dorsalen Verlauf. Bei den Katzen 5, 9, 12 und 14 besaß der Ramus dorsalis einen ventralen Kurs. Die Rami dorsales der Katzen 8, 10 und 11 verliefen gerade zwischen den Ebenen.

Ramus dorsalis L3 – Rechte Seite

Für die Katzen 1, 4, 6, 8, 10, 12, 14 und 15 konnte ein dorsaler Verlauf beobachtet werden. Bei den Katzen 11 und 13 war er ventral ausgerichtet. Die Rami dorsales der Katzen 3 und 5 verliefen zwischen Ebene 3 (Muskulatur) und Ebene 2 (Faszie) auf gleicher Höhe. Katze 9 fehlte ein Ramus dorsalis auf der rechten Seite im Bereich L3. Der Ramus dorsalis L2 der Katze 2 wurde aufgrund seines medianen Verlaufs nicht beurteilt.

Ramus dorsalis L4 – Linke Seite

Ein dorsaler Nervenverlauf wurde bei den Katzen 1 bis 5 und 12 bis 15 beobachtet. Bei den Katzen 9 bis 11 besaßen die Rami dorsales einen ventralen Kurs. Für die Katze 8 veränderten sich die Durchtrittsabstände zur Dorsomedianen nicht. Katze 6 wies keinen Ramus dorsalis L4 auf.

Ramus dorsalis L4 – Rechte Seite

Die Katzen 1 bis 5 und 8 bis 14 zeigten eine dorsale Verlaufsrichtung des Ramus dorsalis. Für die Katzen 6 und 15 wurde kein Ramus dorsalis nachgewiesen.

Ramus dorsalis L5 – Linke Seite

Der Verlauf des Ramus dorsalis bei den Katzen 1, 2, 4, 5 und 12 war in dorsaler Richtung. Nur bei Katze 10 nahm der Nervenast einen ventralen Kurs ein. Bei Katze 11 veränderte der Ramus dorsalis L5 seine paramediane Lage zwischen der Ebene 3 (Muskulatur) und Ebene 2 (Faszie) nicht. Der Ramus dorsalis L5 fehlte bei den Tieren 3, 6, 8, 9 und 13 bis 15.

Ramus dorsalis L5 – Rechte Seite

Nur die Rami dorsales der Katzen 1, 10 und 11 zeigten einen dorsalen Verlauf. Bei den Katzen 2 und 4 ergab sich eine ventrale Richtung. Für die Katzen 3, 5, 6, 8, 9 sowie 12 bis 15 konnte kein Ramus dorsalis dargestellt werden.

Ramus dorsalis L6

Für beide Körperseiten ließ sich ein Ramus dorsalis L6 nicht darstellen.

Ramus dorsalis L7 – Linke Seite

Bei den Katzen 1, 4 und 10 war ein dorsaler Verlauf des Ramus dorsalis L7 zu verzeichnen. Die Katzen 2, 3, 5, 6, 8 und 11 bis 15 besaßen keinen Ramus dorsalis auf der linken Seite.

Ramus dorsalis L7 – Rechte Seite

Der Ramus dorsalis bei den Katzen 2 und 14 war dorsal orientiert. Bei den Katzen 1 und 5 verlief er ventral. Die Rami dorsales der Katzen 9 und 10 zeigten einen ebenen Verlauf zwischen den Ebenen. Für die Katzen 3, 4, 6, 8, 11 bis 13 und 15 wurde kein Ramus dorsalis nachgewiesen.

Die Werte zur Berechnung und Beurteilung des Verlaufs befinden sich in Tab. 9.1 im Anhang.

Paramediane Verschiebung zwischen den Rami dorsales einer Ebene

In der Ebene 2 (Faszie) und Ebene 3 (Muskulatur) wurde beurteilt inwieweit sich die Durchtrittshöhen der einzelnen Rami dorsales in ihrer Position innerhalb der Ebene voneinander unterscheiden (Abb. 4.6).

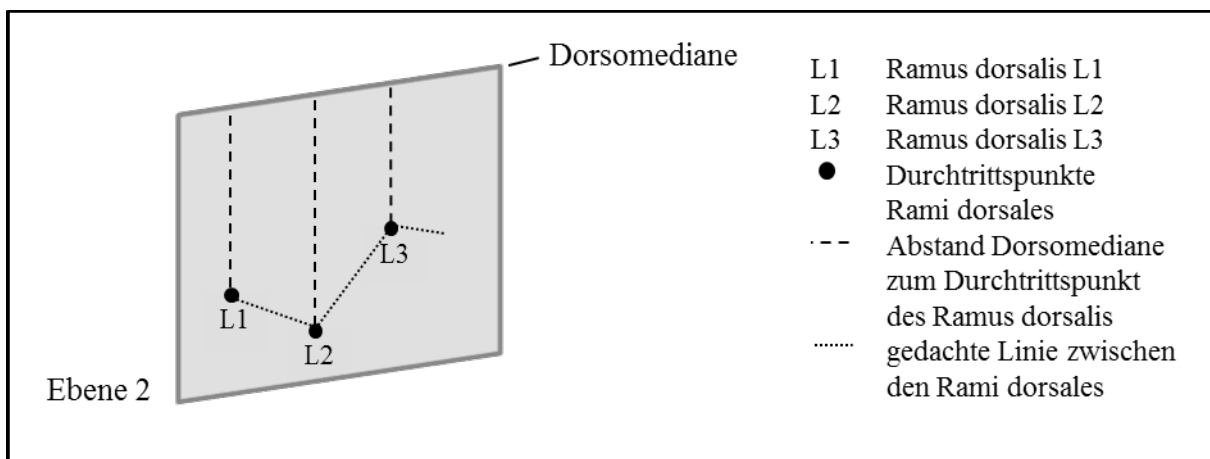


Abb. 4.6 Schematische Darstellung der paramedianen Verschiebung zwischen den Rami dorsales einer Ebene.

Die Werte der Nervendurchtrittsstellen waren individuell und nicht einheitlich. Der Seitenvergleich zeigte starke Unterschiede in dem Verlauf der Rami dorsales auf dem Weg zur Haut. Die Rami dorsales waren auf beiden Körperseiten in Ebene 2 (Faszie) und 3 (Muskulatur) unsymmetrisch (Abb. 4.7 bis Abb. 4.10). Zum einen zeigten sie im Seitenvergleich unterschiedliche Durchtrittshöhen in den Ebenen. Zum anderen glich eine gedachte Linie zwischen den Perforationsstellen der einzelnen Rami dorsales innerhalb der Ebene einem ungleichmäßigem Zickzack.

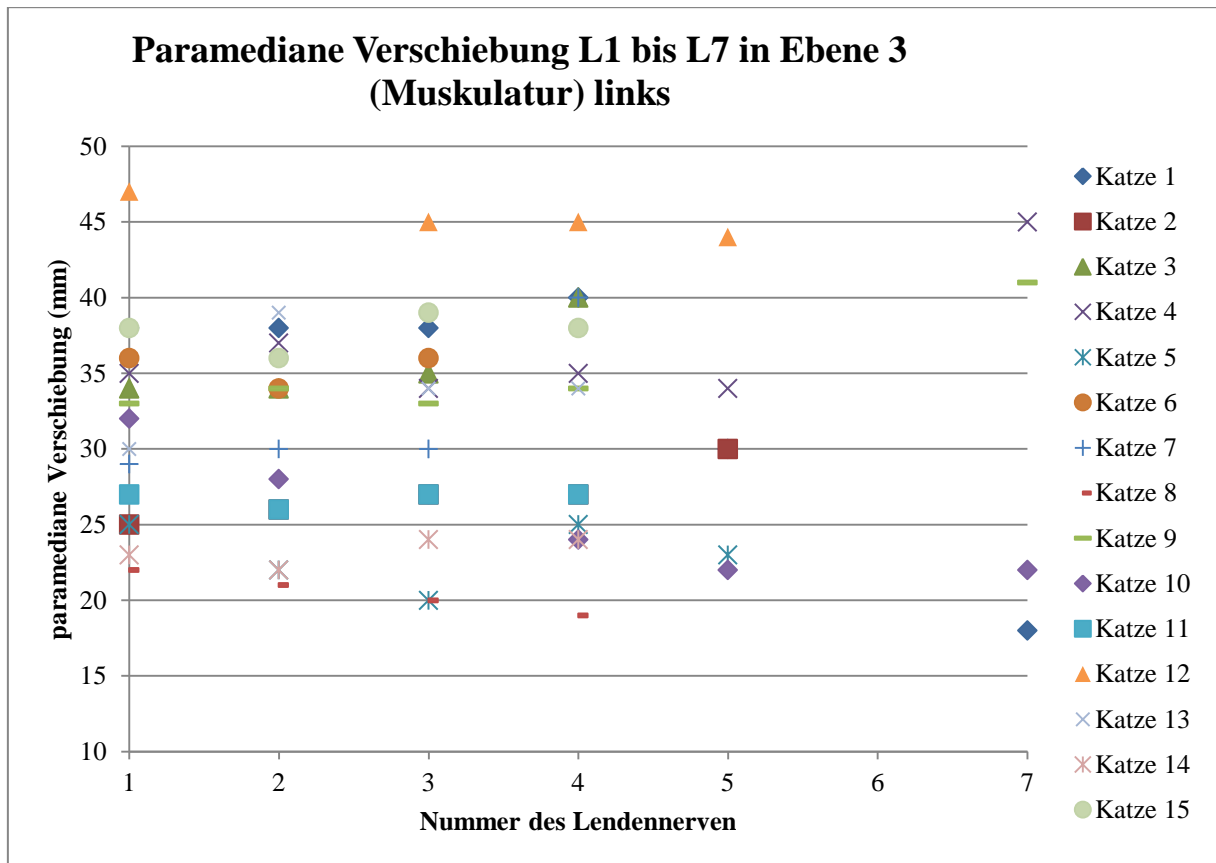


Abb. 4.7 Paramediane Verschiebung L1 bis L7 in Ebene 3 (Muskulatur) links.

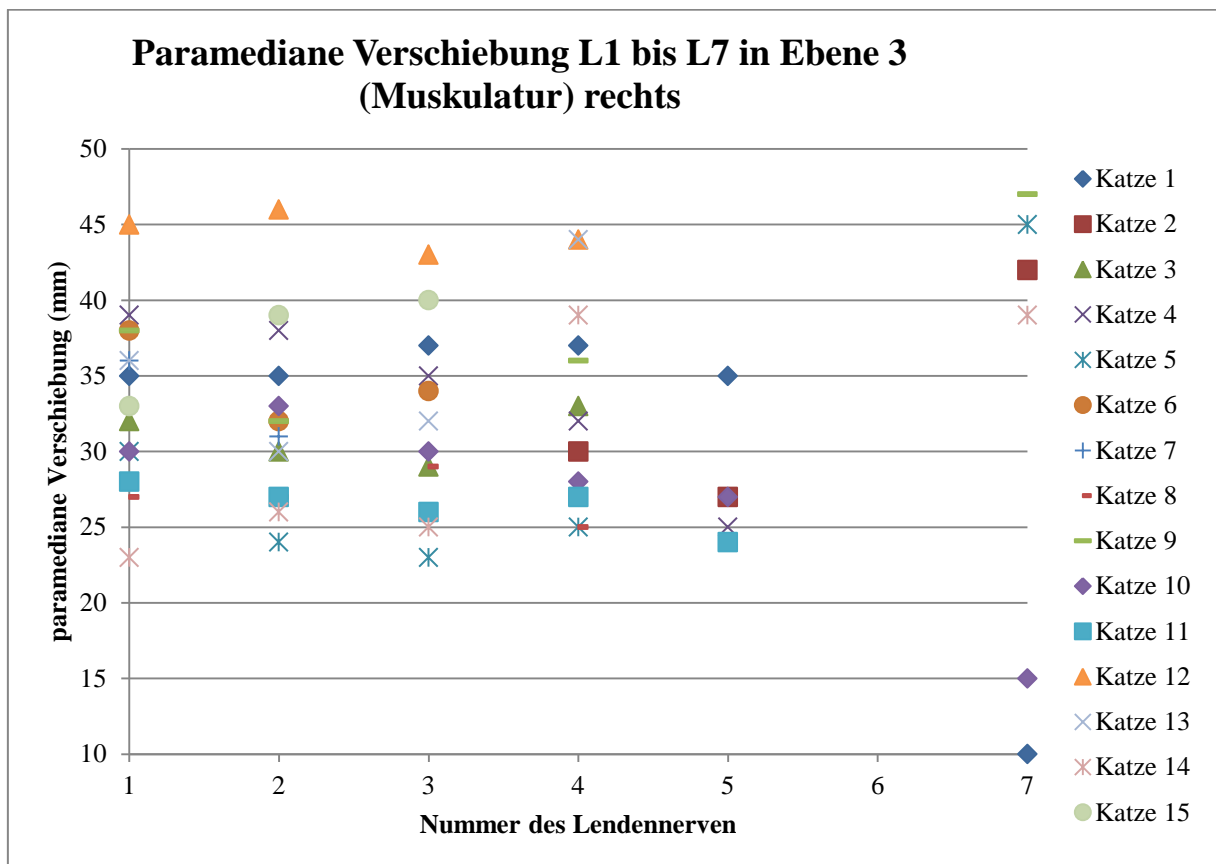


Abb. 4.8 Paramediane Verschiebung L1 bis L7 in Ebene 3 (Muskulatur) rechts.

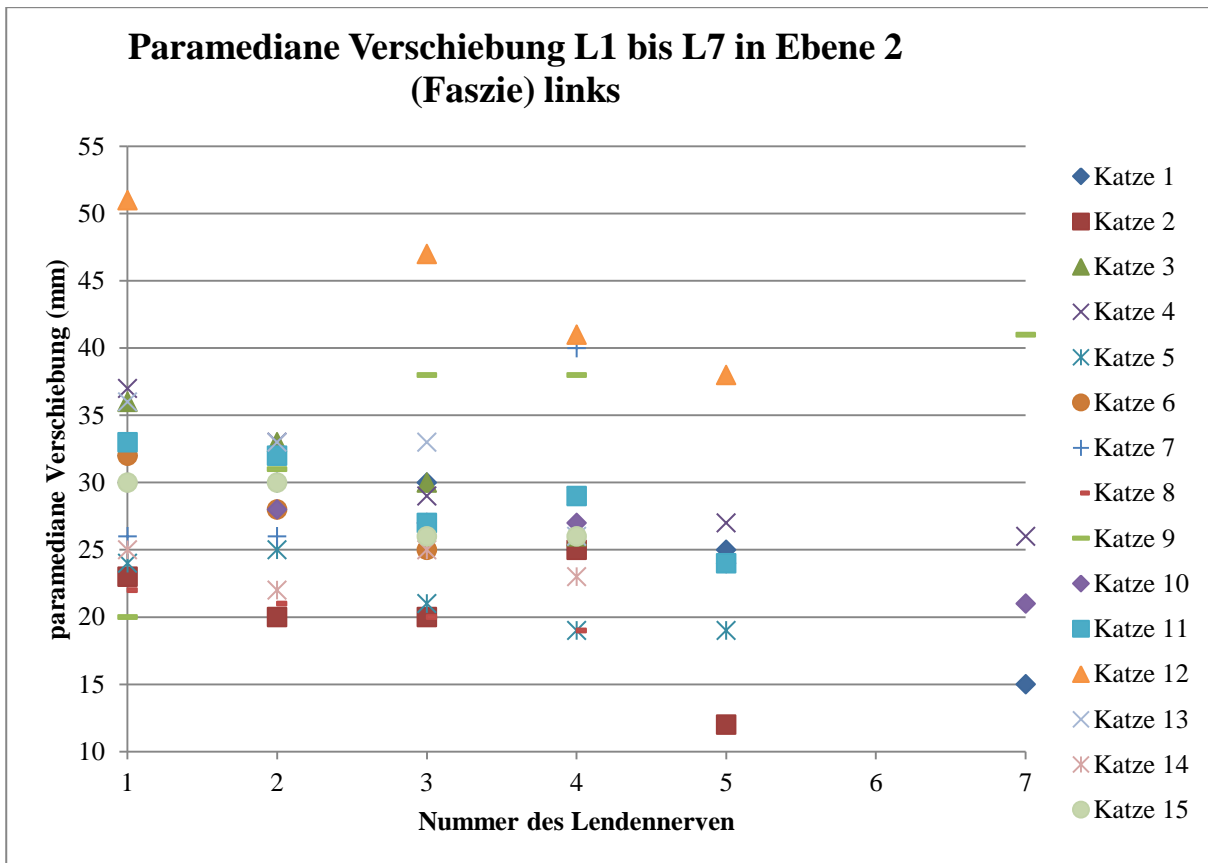


Abb. 4.9 Paramediane Verschiebung L1 bis L7 in Ebene 2 (Faszie) links.

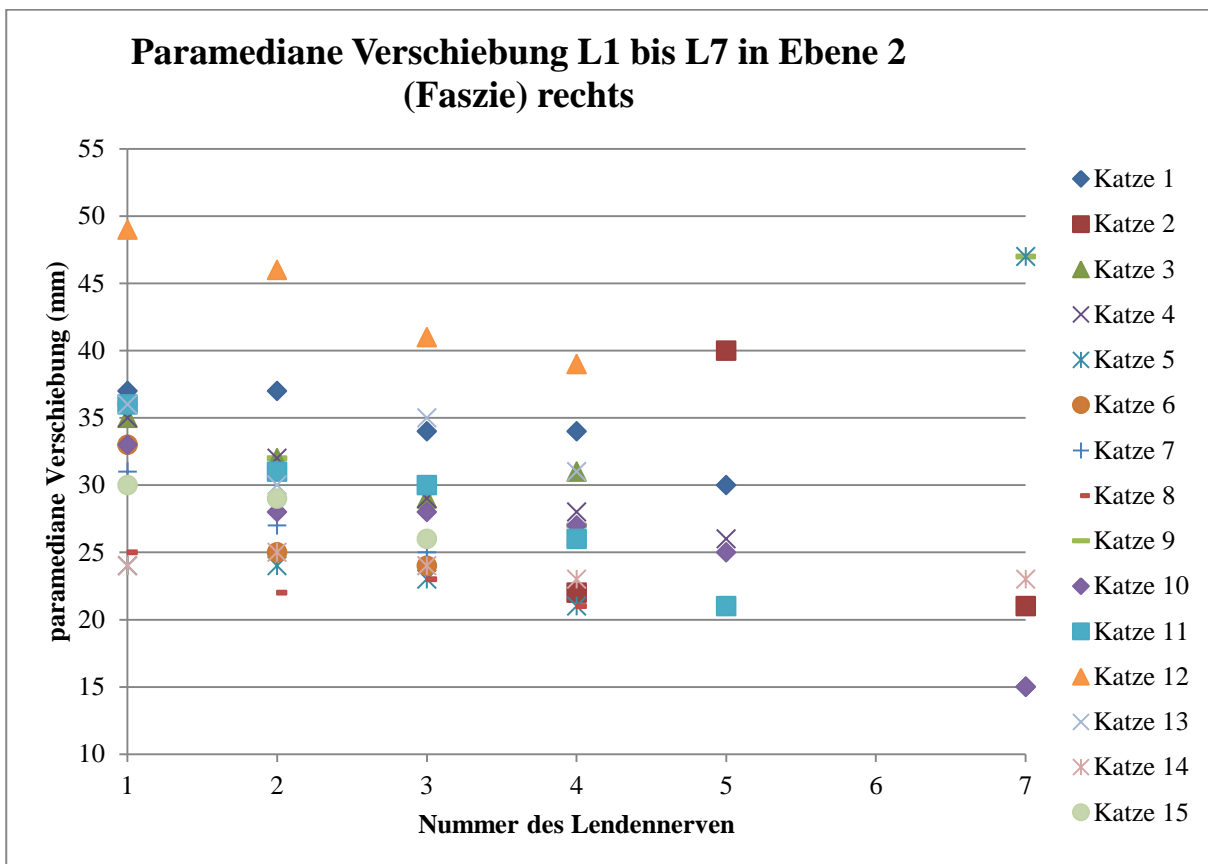


Abb. 4.10 Paramediane Verschiebung L1 bis L7 in Ebene 2 (Faszie) rechts.

4.2 Kaudalverschiebungsindizes ausgewählter Brust- und Lenden-nerven

Die KVI_j beschreiben die Kaudalverschiebung aller Rami dorsales einer Körperseite eines Tieres in jeder Ebene. Die KVI_j stellen den Mittelwert eines bestimmten Ramus dorsalis aller Katzen für eine Seite in allen Ebenen dar.

4.2.1 Kaudalverschiebungsindizes für die linke Körperseite der einzelnen Katzen (KVI_j)

Die Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Rami dorsales der Spinalnerven Th9 bis L7 sind in Tab. 4.2 für die linke Körperseite von 14 Katzen (exklusive Katze 7) dargestellt. Die Mittelwerte für die KVI_j -H lagen bei 2,84. Die Mittelwerte der KVI_j -F und KVI_j -M betrugen 2,16 und 1,09. Dadurch ergab sich für die KVI_j ein Verhältnis zwischen Haut, Faszie und Muskulatur von durchschnittlich 3:2:1. Der KVI_j -M lag im Durchschnitt bei 1 und der KVI_j -H bei 3. Das bedeutet, die zur Ebene 1 (Haut) in Richtung kaudal zurückgelegte Strecke des Nervenastes war dreimal länger als die Strecke zur Ebene 3 (Muskulatur).

Tab. 4.2 Kaudalverschiebungsindizes der 14 Katzen für die Ebene 1 (Haut, KVI_j -H); Ebene 2 (Muskulatur, KVI_j -M); Ebene 3 (Faszie, KVI_j -F) der linken Körperseite.

	KVI_j -H	KVI_j -F	KVI_j -M
<i>Katze 1</i>	1,09	2,09	1,27
<i>Katze 2</i>	4,10	3,50	1,00
<i>Katze 3</i>	2,33	2,11	0,44
<i>Katze 4</i>	3,63	1,90	0,90
<i>Katze 5</i>	2,80	2,30	1,00
<i>Katze 6</i>	1,87	0,87	0,12
<i>Katze 8</i>	3,70	2,40	0,89
<i>Katze 9</i>	2,33	2,11	0,89
<i>Katze 10</i>	2,10	1,70	1,80
<i>Katze 11</i>	3,70	2,40	2,40
<i>Katze 12</i>	2,00	1,67	1,00
<i>Katze 13</i>	3,37	2,62	1,25
<i>Katze 14</i>	3,66	2,33	1,11
<i>Katze 15</i>	3,11	2,33	1,22
\bar{x}	2,84	2,16	1,09

\bar{x} : arithmetisches Mittel

Eine grafische Darstellung der KVI_j -H, KVI_j -F und KVI_j -M für die linke Seite der jeweiligen Katzen ist in Abb. 4.11 zu sehen. Eine vergleichende Darstellung zwischen der linken und rechten Körperseite zeigt Abb. 4.13.

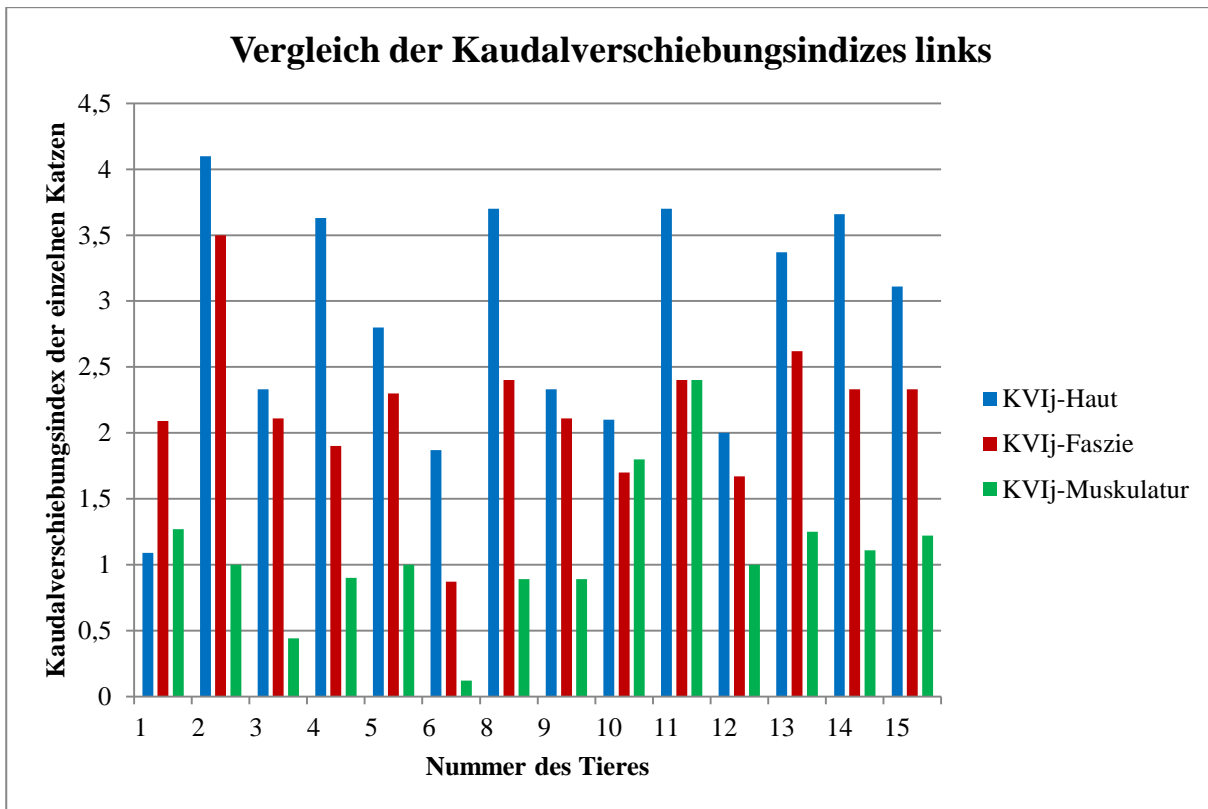


Abb. 4.11 Vergleich der KVI_j der Ebenen 1 (Haut), 2 (Faszia) und 3 (Muskulatur) der linken Körperseite der einzelnen Katzen.

4.2.2 Kaudalverschiebungsindizes für die rechte Körperseite der einzelnen Katzen (KVI_j)

Die Kaudalverschiebungsindizes der Rami dorsales der Spinalnerven Th9 bis L7 für die rechte Körperseite der 14 Katzen (exklusive Katze 7) ist in Tab. 4.3 dargestellt.

Tab. 4.3 Kaudalverschiebungsindizes der 14 Katzen für die Ebene 1 (Haut, KVI_j-H); Ebene 2 (Muskulatur, KVI_j-M); Ebene 3 (Faszie, KVI_j-F) der rechten Körperseite.

	<i>KVI_j-H</i>	<i>KVI_j-F</i>	<i>KVI_j-M</i>
<i>Katze 1</i>	1,09	2,09	0,81
<i>Katze 2</i>	4,23	3,46	1,00
<i>Katze 3</i>	1,80	1,90	0,00
<i>Katze 4</i>	3,22	1,88	1,11
<i>Katze 5</i>	2,00	2,30	0,90
<i>Katze 6</i>	1,75	1,37	1,12
<i>Katze 8</i>	3,70	2,30	1,10
<i>Katze 9</i>	2,11	1,67	0,89
<i>Katze 10</i>	0,72	1,36	0,27
<i>Katze 11</i>	3,60	2,20	1,00
<i>Katze 12</i>	2,30	2,00	1,00
<i>Katze 13</i>	3,00	2,37	1,00
<i>Katze 14</i>	4,20	3,30	2,10
<i>Katze 15</i>	3,50	2,83	1,83
\bar{x}	2,65	2,21	1,00

\bar{x} : arithmetisches Mittel

Der KVI_j-H der rechten Körperseite belief sich im Mittel auf 2,65. Der KVI_j-F lag im Mittel bei 2,21 und der Mittelwert der KVI_j-M betrug 1,00. Hier lag das Verhältnis von Haut zu Faszie und Muskulatur wie auf der linken Seite im Mittel bei 3:2:1.

Ergebnisse

Die KVI_j -H, KVI_j -F und KVI_j -M für die rechte Körperseite sind in Abb. 4.12 grafisch dargestellt.

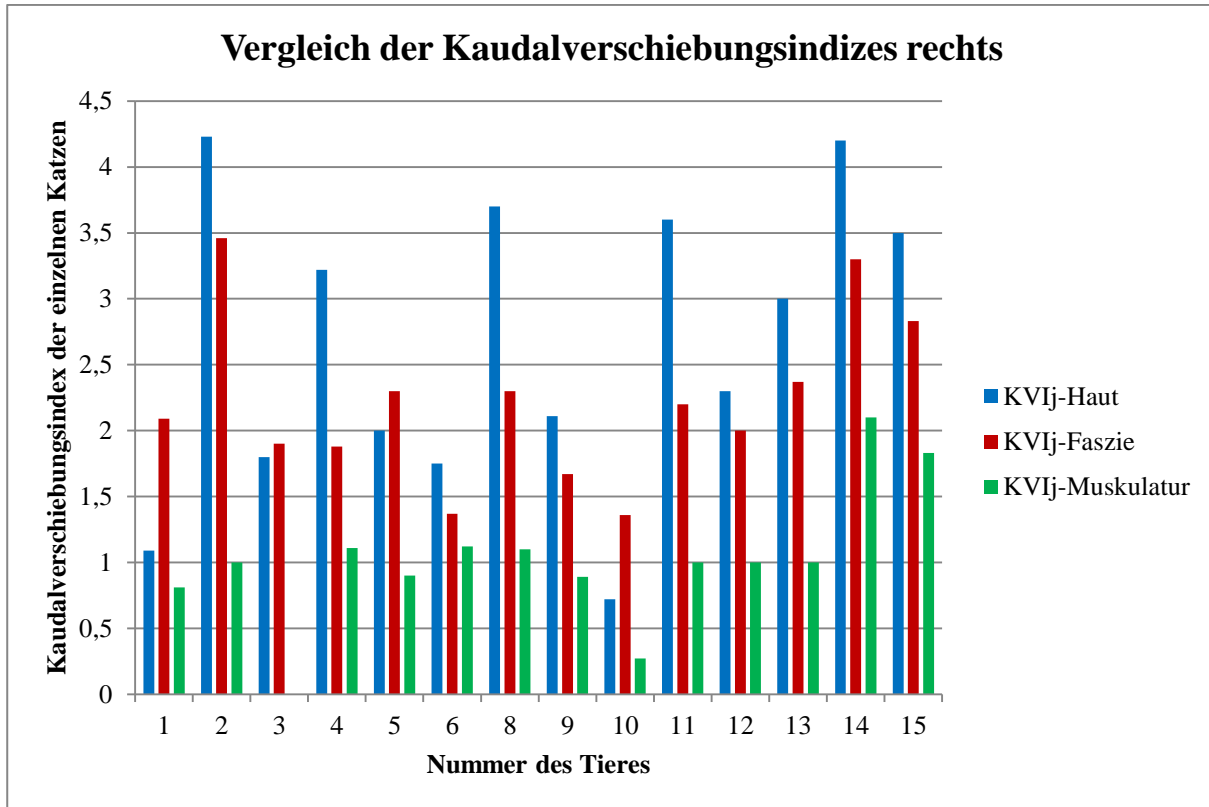


Abb. 4.12 Vergleich der KVI_j der Ebenen 1 (Haut), 2 (Faszia) und 3 (Muskulatur) der rechten Körperseite der einzelnen Katzen.

4.2.3 Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Tiere im Vergleich

Die KVI_j -H lagen im Mittel für die linke Seite bei 2,84 und für die rechte Seite bei 2,65 (Tab. 4.4). Es bestand für die KVI_j -H beider Körperseiten ein Unterschied von 0,19. Für den KVI_j -M war es ein Unterschied von 0,09 bei einem KVI_j -M Mittelwert links von 1,09 und rechts von 1,00. Dabei waren die KVI_j -H und KVI_j -M auf der linken Seite größer als auf der rechten Seite. Auf der linken Seite betrug der Mittelwert der KVI_j -F 2,16. Im Vergleich dazu lag der Mittelwert auf der rechten Seite bei 2,21. Die Differenz beider Körperseiten berechnete sich auf 0,05.

Tab. 4.4 Differenz der Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Katzen beider Körperseiten für die Ebene 1 (Haut, KVI_j-H), Ebene 2 (Faszie, KVI_j-F) und Ebene 3 (Muskulatur, KVI_j-M).

	KVI _j -H	KVI _j -F	KVI _j -M
<i>links</i>	2,84	2,16	1,09
<i>rechts</i>	2,65	2,21	1,00
\bar{x}	0,19	0,05	0,09

\bar{x} : arithmetisches Mittel

Ein Vergleich der KVI_j der linken und rechten Körperseite veranschaulicht Abb. 4.13.

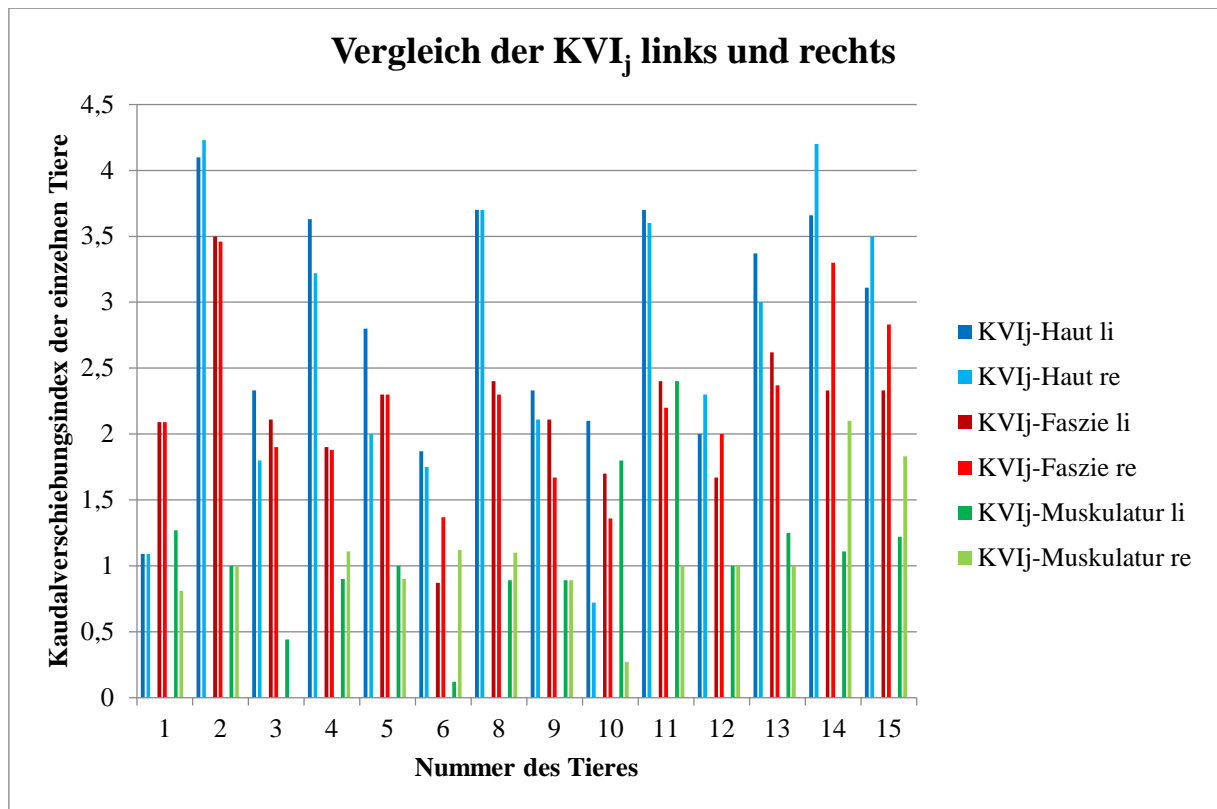


Abb. 4.13 Vergleich der KVI_j der Ebenen 1 (Haut), 2 (Faszie) und 3 (Muskulatur) beider Körperseiten der einzelnen Katzen.

Beide Körperseiten wiesen ähnliche Kaudalverschiebungen in den verschiedenen Ebenen auf, die sich maximal um 1,53 (Katze 10, Ebene 3) unterschieden. Meist stimmten die KVI_j der Katzen in einer Ebene auf beiden Seiten überein. Die Katzen 2, 9 und 12 besaßen jeweils in Ebene 3 (Muskulatur) links und rechts die gleichen KVI_j-M. Die KVI_j-F waren bei Katze 5 und bei Katze 9 die KVI_j-H identisch. Katze 1 zeigte sogar auf beiden Körperseiten in Ebene 1 (Haut) und Ebene 2 (Faszie) sich entsprechende Kaudalverschiebungen, die nur in Ebene 3 (Muskulatur) etwas voneinander abwichen. Bestanden Unterschiede zwischen den KVI_j bei einer Katze, zeigten sich längere KVI_j meist auf einer Körperseite. Ausnahmen waren die Katzen 4, 6 und 8. Dort wechselte der Wert des KVI_j zwischen der linken und rechten Körperseite. Große Unregelmäßigkeiten in den KVI_j der linken gegenüber der rechten Seite bildeten sich unter anderem bei Katze 6, 10, 11 und 14 in Ebene 3 (Muskulatur) ab. Bei

den Katzen 5 und 10 gab es auch in Ebene 1 (Haut) deutliche Unterschiede im Seitenvergleich.

4.2.4 Kaudalverschiebungsindex der einzelnen Rami dorsales (KVI_i)

Die Tab. 4.5 zeigt die Mittelwerte der KVI_i von den Rami dorsales der einzelnen Spinalnerven Th9 bis L7 für beide Seiten in den Ebenen 1 (Haut), 2 (Faszie) und 3 (Muskulatur) der 14 Katzen (exklusive Katze 7). Die Minimal- und Maximalwerte der einzelnen Nervenäste sind im Anhang in Tab. 9.5 bis Tab. 9.7 aufgeführt. Die Mittelwerte der Kaudalverschiebungsindizes für die Rami dorsales in der Ebene 1 (Haut) zeigten beidseits für die Nervenäste Th10 bis L4 einen KVI_i -H von 3. Bei den Rami dorsales Th9 und L5 lag der durchschnittliche KVI_i -H bei 3 auf der rechten Seite und bei 2 auf der linken Seite. Der Nervenast L7 besaß beidseitig einen Mittelwert des KVI_i -H von 1.

Tab. 4.5 Mittelwerte der KVI_i der Ebene 1 (Haut, KVI_i -H), 2 (Faszie, KVI_i -F) und 3 (Muskulatur, KVI_i -M) für die Rami dorsales Th9 bis L7 beider Körperseiten für 14 Katzen (exklusive Katze 7).

	KVI_i -H		KVI_i -F		KVI_i -M	
	links	rechts	links	rechts	links	rechts
Th9	2,61	1,84	3,00	2,77	1,30	0,92
Th10	2,78	2,07	2,92	2,77	1,28	0,92
Th11	2,72	2,67	2,63	2,58	1,27	1,20
Th12	2,92	2,46	1,50	2,15	1,07	0,84
Th13	3,23	3,15	2,00	2,14	0,92	1,00
L1	3,07	3,07	2,00	2,00	0,93	0,87
L2	2,84	2,85	1,92	1,87	1,14	0,87
L3	2,92	3,07	1,87	2,13	1,07	0,93
L4	2,92	3,17	1,77	1,83	1,07	1,08
L5	2,71	1,80	1,57	1,20	1,00	0,80
L6	—	—	—	—	—	—
L7	1,25	0,83	0,50	1,00	0,75	1,00

KVI_i -H/F/M: KVI_i Mittelwert der Rami dorsales in der jeweiligen Ebene

Für die Ebene 2 (Faszie) ergab sich für die Rami dorsales Th9 bis Th11 auf beiden Körperseiten ein Mittelwert für die KVI_i -F von 3. Die Nervenäste Th12 bis L4 zeigten eine durchschnittliche Kaudalverschiebung von 2. Die Rami dorsales L5 und L7 besaßen beidseits einen Mittelwert der KVI_i -F von 1.

In der Ebene 3 (Muskulatur) lag der Mittelwert der KVI_i -M für beide Seiten bei 1 für die Rami dorsales Th9 bis L7. Eine leichte Abnahme der Kaudalverschiebung von kranial nach kaudal ist zu erkennen.

Das Verhältnis der KVI_i der Spinalnerven in den einzelnen Ebenen entsprach in etwa denen der einzelnen Katzen. Die größten Unterschiede in den KVI_i wies die Ebene 2 (Faszie) auf.

Die KVI_i-F wurden von kranial nach kaudal geringer. Der durchschnittliche KVI_i-F lag bei 2, deshalb ergab sich auch hier eine durchschnittliche Verteilung von 3:2:1 für die Haut zu Faszie zu Muskulatur.

4.3 Innervationsbereiche der lumbosakralen Haut

4.3.1 Innervationsbereiche der linken Körperseite

Von den 15 untersuchten Tieren konnten 14 für die Bestimmung der Innervationsgrenzen der linken Körperseite herangezogen werden. Katze 7 wurde aufgrund ihrer um einen Wirbel verkürzten Lendenwirbelsäule nicht mit einbezogen. Innerhalb der 14 Tiere wurde ein minimaler (KVI_i-H Min) und maximaler Kaudalverschiebungsindex (KVI_i-H Max) für die Lendennerven ermittelt (Tab. 4.6). Diese Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Hautäste (KVI_i-H) der Lendennerven L1 bis L7 ermöglichten es, die Eintrittsstellen in die Unterhaut schematisch für die linke Seite der Katzen abzubilden.

Tab. 4.6 Kaudalverschiebungsindex der Haut für die Lendennerven L1 bis L7 der linken Körperseite von 14 Katzen (exklusive Katze 7).

	<i>KVI_i-H</i>	<i>KVI_i-H Min</i>	<i>KVI_i-H Max</i>
<i>L1</i>	3,07	1	4
<i>L2</i>	2,84	1	4
<i>L3</i>	2,92	1	4
<i>L4</i>	2,92	1	4
<i>L5</i>	2,71	1	5
<i>L6</i>	—	—	—
<i>L7</i>	1,25	0	2

KVI_i-H: Mittelwert KVI_i-Haut; KVI_i-H Min: geringste KVI_i;
KVI_i-H Max: weiteste KVI_i

In Abb. 4.14 sind die KVI_i-H Min und KVI_i-H Max sowie die Kaudalverschiebungsindizes der Haut (KVI_i-H) für die Rami dorsales L1 bis L7 der linken Seite dargestellt. Die KVI_i-H lagen zum Teil am Übergang zu einem nachfolgenden Innervationsbereich. Eine Überlappung der Innervationsbereiche von bis zu zwei Drittel war zu erkennen. Von kranial nach kaudal bzw. von L1 bis L7 nahmen die Überlagerungen zu. Das Innervationsgebiet des Ramus dorsalis L1 erstreckte sich bis in die Bereiche von L3 und L4. Weiterhin weitete sich das innervierte Gebiet des Ramus dorsalis L3 bis in die übernächsten Areale von L5 und L7 aus. Die Rami dorsales L5 und L7 waren bei einigen Katzen nicht nachweisbar; siehe Kap. 4.1.1, Tab. 4.1. Für den Lendennerven L6 konnte kein Innervationsgebiet dargestellt werden, da für diesen Rückenbereich keine Rami dorsales gefunden wurden. Die Abb. 4.13 zeigt, dass die Innervation in den Rückenbereichen dennoch durch kraniale Hautäste gegeben war.

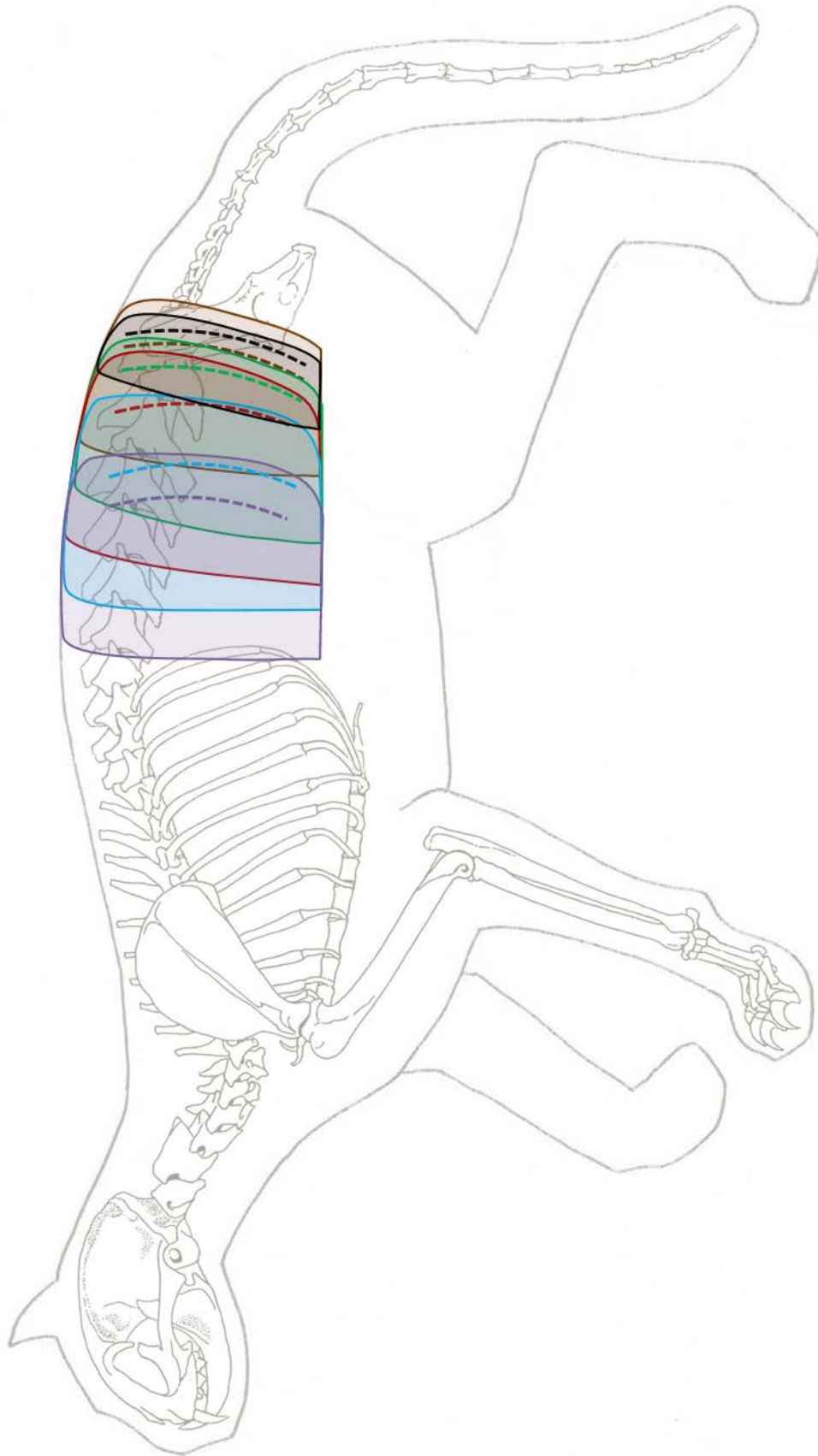


Abb. 4.14 Übersicht der Innervationsbereiche der Lendennerven L1 bis L7 der linken Körperseite. ■ L1; ■ L2; ■ L3; ■ L4; ■ L5; ■ L7; --- Mittelwert KVI_I-Haut des jeweiligen Lendennerven

4.3.2 Innervationsbereiche der rechten Körperseite

Für die rechte Körperhälfte wurden ebenfalls 14 der 15 untersuchten Katzen für die schematische Darstellung der Innervationsbereiche herangezogen (Abb. 4.15). Auch hier wurde ein minimaler ($KVI_i\text{-H Min}$), ein maximaler ($KVI_i\text{-H Max}$) und ein Mittelwert ($KVI_i\text{-H}$) für den jeweiligen Ramus dorsalis der Lendennerven L1 bis L7 ermittelt (Tab. 4.7).

Tab. 4.7 Kaudalverschiebungsindex der Haut für die Lendennerven L1 bis L7 der rechten Körperseite von 14 Katzen (exklusive Katze 7).

	$KVI_i\text{-H}$	$KVI_i\text{-H Min}$	$KVI_i\text{-H Max}$
L1	3,07	1	5
L2	2,85	1	5
L3	3,07	1	9
L4	3,17	1	6
L5	1,80	1	5
L6	—	—	—
L7	0,83	0	3

$KVI_i\text{-H}$ -Haut: Mittelwert $KVI_i\text{-H}$ -Haut; $KVI_i\text{-H Min}$: geringste KVI_i ;
 $KVI_i\text{-H Max}$: weiteste KVI_i

Die Abb. 4.15 illustriert die Innervationsgebiete der lumbosakralen Haut auf der rechten Seite durch die Rami dorsales L1 bis L7. Das innervierte Areal des Ramus dorsalis L1 erstreckte sich bis in das Innervationsgebiet des Nervenastes L5. Der $KVI_i\text{-H Max}$ des Ramus dorsalis L2 überlappte mit dem $KVI_i\text{-H Max}$ des Ramus dorsalis L7. Der Innervationsbereich des L3 überlagerte das Gebiet des L7 vollständig und erstreckte sich bis zu den Schwanzwirbeln. Damit lag die Überlappung der Innervationsbereiche zum Teil deutlich über zwei Dritteln. Das Areal des Ramus dorsalis L4 zog bis in die Bereiche L5 und L7. Auch für die rechte Seite waren die Rami dorsales L5 und L7 nicht bei jeder Katze ausgebildet; siehe Kap. 4.1.1, Tab. 4.1. Der Ramus dorsalis L6 wurde nicht nachgewiesen. Durch die Überlappung war auch hier eine nervale Versorgung der Haut gegeben.

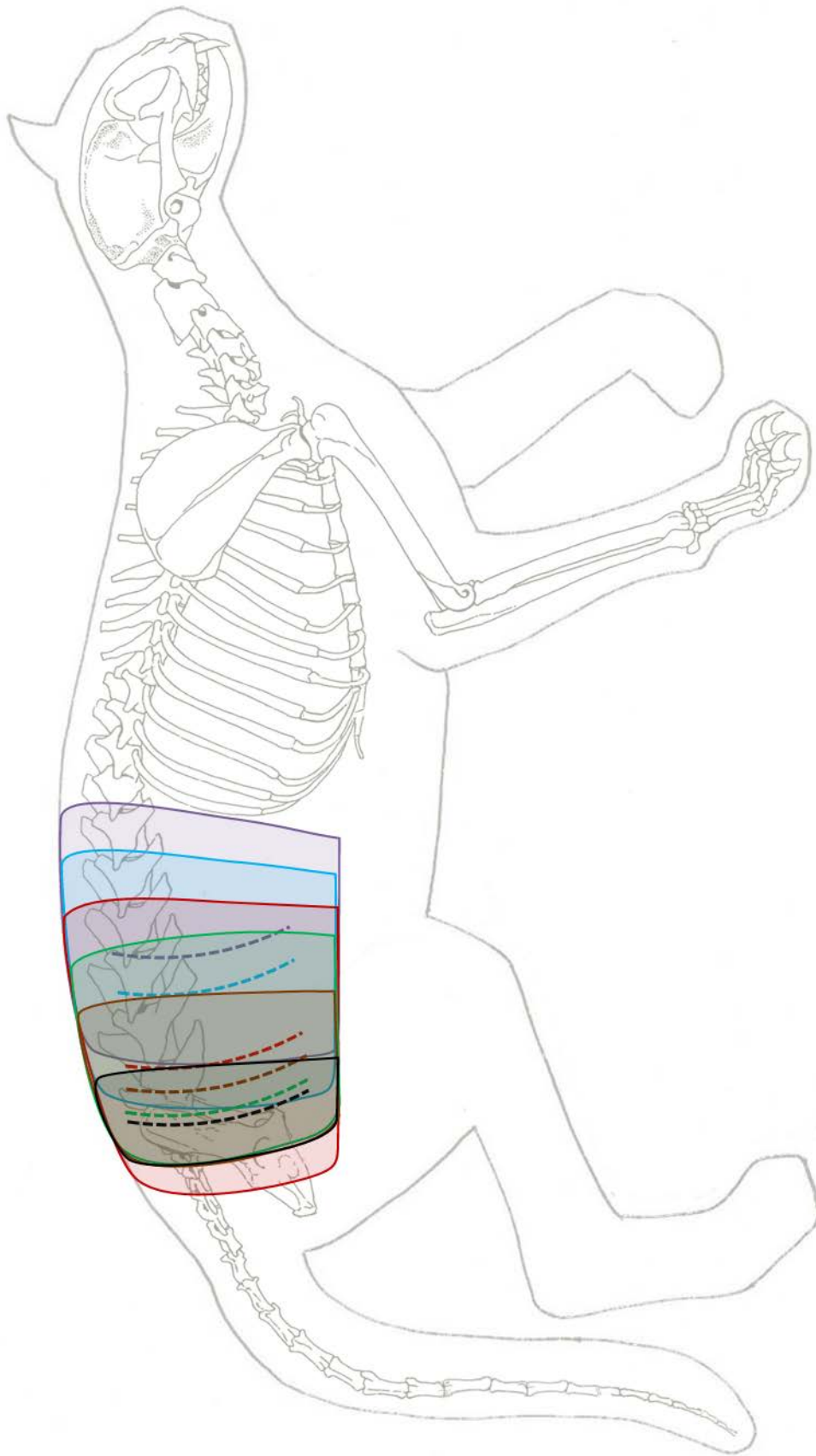


Abb. 4.15 Übersicht der Innervationsbereiche der Lendennerve L1 bis L7 der rechten Körperseite. ■ L1; ■ L2; ■ L3; ■ L4; ■ L5; ■ L7; --- Mittelwert KVI_I-Haut des jeweiligen Lendennerve

4.4 Morphometrische Analyse der Lendenwirbelsäule

4.4.1 Korrelation der Länge der Lendenwirbelsäule mit den Kaudalverschiebungsindizes der Lendennerven L1 bis L7

Tab. 4.8 zeigt eine Übersicht über die KVI_j der 15 Tiere (exklusive Katze 7) für die Lendennerven L1 bis L7. Die mittlere Länge der Lendenwirbelsäule betrug 14,25 cm.

Tab. 4.8 Darstellung der KVI_j -H (Haut), KVI_j -F (Faszie) und KVI_j -M (Muskulatur) der Katzen 1 bis 15 (exklusive Katze 7) der Lendennerven L1 bis L7 beider Körperseiten.

	<i>Länge LWS</i>	<i>KVI_j-H</i>		<i>KVI_j-F</i>		<i>KVI_j-M</i>	
		<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>
Katze 1	15,00	1,16	1,16	1,83	1,83	1,37	1,30
Katze 2	15,60	4,20	4,33	2,80	3,33	1,00	1,00
Katze 3	14,30	3,00	2,75	2,00	2,00	0,75	0,75
Katze 4	13,80	2,83	3,20	1,50	1,20	0,89	0,60
Katze 5	15,50	2,60	2,20	1,80	1,60	1,00	0,80
Katze 6	12,60	2,00	1,33	0,67	0,67	0,67	0,67
Katze 8	13,40	4,00	4,00	2,00	1,75	1,00	1,00
Katze 9	14,40	1,80	2,40	1,60	1,60	0,80	0,80
Katze 10	13,80	1,67	0,83	0,67	0,83	0,83	0,00
Katze 11	13,70	4,00	3,80	2,00	1,80	1,00	1,00
Katze 12	14,60	2,25	3,00	1,25	2,00	0,25	1,00
Katze 13	14,80	3,25	3,25	2,00	2,00	1,00	1,00
Katze 14	12,80	4,00	4,40	2,00	3,00	1,25	2,20
Katze 15	15,00	3,25	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00
\bar{x}	14,52 cm						

\bar{x} : arithmetisches Mittel

Für die Ebene 1 (Haut) ergab sich ein sehr geringer negativer Zusammenhang zwischen der Länge der LWS und dem KVI_j . Der Korrelationskoeffizient für KVI_j -H betrug für die linke Körperseite $r = -0,0782$ und für die rechte Körperseite $r = -0,0188$. Ein ähnliches Ergebnis zeigte sich für die Ebene 3 (Muskulatur) der rechten Seite mit $r = -0,1134$, dort bestand ebenfalls ein sehr geringer negativer Zusammenhang. Für den KVI_j -M der linken Seite zeigte sich ein sehr geringer positiver Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,0823$. Die KVI_j -F wiesen einen Korrelationskoeffizienten $r = 0,4903$ für die linke Körperseite und $r = 0,3521$ für die rechte Körperseite auf. Es bestand für die Ebene 2 (Faszie) beidseitig eine geringe positive Korrelation zwischen den KVI_j -F und der Länge der LWS. Damit besitzt die KVI_j -F eine geringe Korrelation zur Länge der Lendenwirbelsäule.

Das Bestimmtheitsmaß für die KVI_j -H war linksseitig $R^2 = 0,0061$ und rechtsseitig $R^2 = 0,0004$. Für den KVI_j -M links ergab sich ein $R^2 = 0,0068$ und rechts $R^2 = 0,0129$. Es bestand beidseitig kein linearer Zusammenhang für die KVI_j -H und KVI_j -M mit der Länge

Ergebnisse

der LWS. Die KVI_j-F besaßen auf der linken Seite einen $R^2 = 0,2405$ und auf der rechten Seite $R^2 = 0,124$. Das entsprach links einem linearen Zusammenhang von 24,05% und rechts von 12,4% zwischen der Länge der LWS und dem KVI_j-F. Die Korrelation der Länge der Lendenwirbelsäule und der Kaudalverschiebungsindizes sind beispielhaft für die rechte Körperseite in Abb. 4.16 dargestellt.

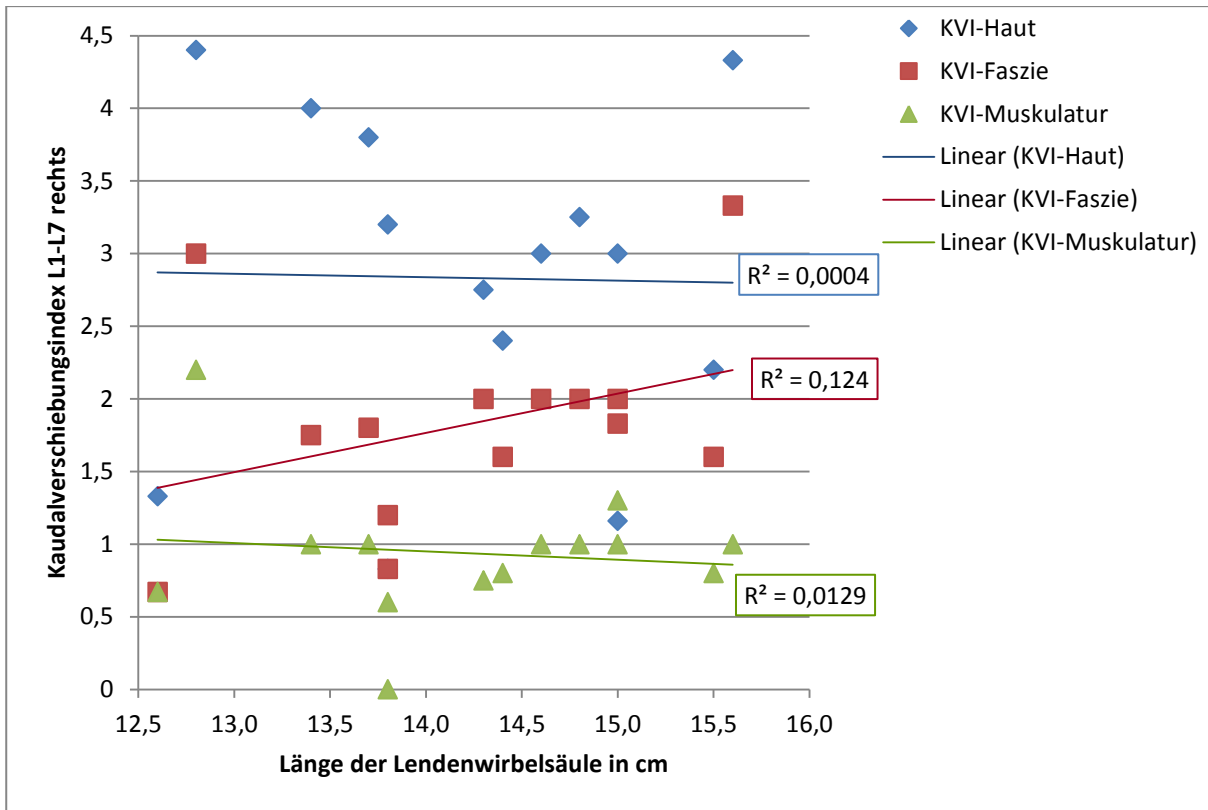


Abb. 4.16 Korrelation zwischen der Länge der Lendenwirbelsäule und den KVI_j der einzelnen Ebenen der rechten Körperseite von 14 Katzen im Bereich L1 bis L7.

4.4.2 Vergleich der Messmethoden der Wirbelsäulenlänge anhand computertomografischer Aufnahmen und einer Freihandmessung am Präparat

Für den Vergleich der beiden Messmethoden wurde ein Bland-Altman Plot angefertigt (Abb. 4.17). Die Daten für die Auswertung sind in Tab. 4.9 aufgeführt. Die Werte der Freihandmessung entsprechen dem arithmetischen Mittel der Daten für die Lendenwirbelsäulenlänge und der Summe der gemessenen Lendenwirbel. Die CT-Messung stellt den Mittelwert aus der Messung in der laterolateralen und ventrodorsalen Übersichtsaufnahme dar.

Tab. 4.9 Messdaten der Handmessung und den CT-Aufnahmen für die Katzen 3 bis 15 (alle Werte in cm angegeben).

	Freihandmessung	CT-Messung	Mittelwert der Messmethoden
<i>Katze 3</i>	14,3	13,9	14,1
<i>Katze 4</i>	13,8	13,9	13,9
<i>Katze 5</i>	15,5	14,1	14,8
<i>Katze 6</i>	12,6	13,3	13,0
<i>Katze 7</i>	11,6	11,7	11,6
<i>Katze 8</i>	13,4	13,3	13,3
<i>Katze 9</i>	14,4	14,5	14,5
<i>Katze 10</i>	13,8	13,1	13,5
<i>Katze 11</i>	13,7	14,0	13,8
<i>Katze 12</i>	14,6	14,4	14,5
<i>Katze 13</i>	14,8	15,0	14,9
<i>Katze 14</i>	12,8	13,0	12,9
<i>Katze 15</i>	15,0	15,2	15,1

Für die Bestimmung der Normalverteilung wurde ein Shapiro - Wilk Test für beide Messmethoden angewendet (Tab. 4.10).

Tab. 4.10 Shapiro – Wilk Test auf Normalverteilung.

	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Sig.
Freihandmessung	0,969	13	0,881
CT-Messung	0,956	13	0,692

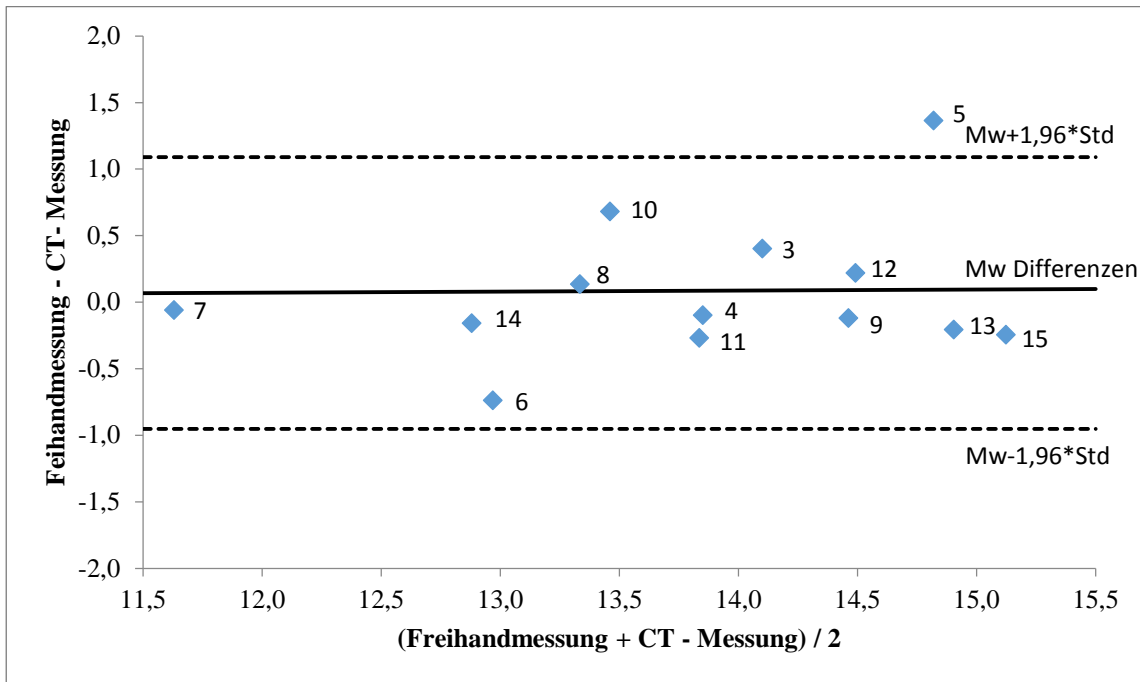
df: Freiheitsgrad; Sig.: Signifikanz

Das Ergebnis der Signifikanz für die Freihandmessung betrug 0,881 und für die CT-Messung 0,692.

Der Mittelwert der Differenzen zwischen den zwei Messmethoden lag bei 0,1 (Abb. 4.17). Über 95% der Werte befanden sich in dem Bereich der Standardabweichung.

Ergebnisse

Die Bestimmung der Standardkorrelation (Pearson Korrelation) ergab einen signifikanten Zusammenhang beider Messmethoden ($r = 0.875691$, $p = 8,74 \times 10^{-5}$).



Std: Standardabweichung; Mw: Mittelwert; 3-15: Nummer der Katze

Abb. 4.17 Bland-Altman Plot für die Gegenüberstellung der Freihandmessung am Präparat und der Messung anhand computertomografischer Bilder.
-- Standardabweichung der Mittelwertlinie
— Mittelwertlinie der Differenzen

Die Ergebnisse der Freihandmessung liegen zwischen -0,7 unter und 1,4 über den Messdaten der CT-Messungen. Das bedeutet, dass bei der Katze 5 die Wirbelsäule in der Freihandmessung 1,4 cm länger ist als in den entsprechenden CT-Aufnahmen. Für die Katze 6 ist jedoch das Ergebnis der CT-basierten Messung um 0,7 cm größer. Die anderen Werte liegen zwischen den Übereinstimmungsgrenzen um den Mittelwert der Differenzen zwischen beiden Messmethoden.

4.5 Nervenverlauf und Kaudalverschiebungsindizes der Katze 7

Die Gesamtzahl der in dieser Studie untersuchten Tiere belief sich auf 15 adulte Katzen. In der anatomischen Fachliteratur werden stets sieben Lendenwirbel für die Katze beschrieben, die für diese Arbeit als Standard angenommen wurden. Während der CT-Aufnahmen und der anschließenden Präparation zeigte sich bei einem Tier (Katze 7) eine davon abweichende Anzahl an Lendenwirbeln. Im Anschluss an die Präparation wurde die Wirbelsäule des Tieres aus diesem Grund für eine Mazeration vorbereitet. Die Mazeration bestätigte eine um einen Lendenwirbel verkürzte Wirbelsäule (Abb. 4.18).



Abb. 4.18 Lateralansicht der mazerierten Wirbelsäule mit sechs Lendenwirbeln.

Eine symmetrische Verteilung der Rami dorsales konnte im Bereich Th9 bis L3 für beide Körperseiten nachgewiesen werden. Der Ramus dorsalis L4 war nur auf der linken Seite und der für L6 nur auf der rechten Seite ausgebildet. Im Bereich L6 der rechten Seite zog zudem ein ventraler Hautast auf gleicher Höhe mit den Rami dorsales durch die Fascia thoracolumbalis. Für den Lendennerven L5 fehlte der Ramus dorsalis vollständig. Eine Übersicht über die Nervenverteilung ist in Kap. 4.1.1 in Tab. 4.1 dargestellt.

Die KVI_i der Rami dorsales Th9 bis L6 sind in Tab. 4.11 für beide Körperseiten aufgeführt. Die KVI_i-H der dorsalen Nervenäste der linken Körperseite lag bei 4. Ausnahmen waren L3 und L4 mit einem KVI_i-H von 6.

Ergebnisse

Tab. 4.11 Darstellung der KVI_i-H (Haut), KVI_i-F (Faszie) und KVI_i-M (Muskulatur) der Rami dorsales Th9 bis L6 der Katze 7 für beide Körperseiten.

	<i>KVI_i-H</i>		<i>KVI_i-F</i>		<i>KVI_i-M</i>	
	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>
Th9	4	3	4	3	0	0
Th10	4	4	4	3	0	0
Th11	4	3	3	2	1	0
Th12	4	3	3	2	1	1
Th13	4	3	3	2	2	1
L1	4	3	3	2	1	1
L2	4	3	3	1	2	0
L3	6	3	3	1	2	1
L4	6	—	4	—	4	—
L5	—	—	—	—	—	—
L6	—	3	—	2	—	2
\bar{x}	4,44	3,11	3,33	2,00	1,44	0,67

\bar{x} : arithmetisches Mittel

Auf der rechten Seite wurde durchschnittlich ein KVI_i-H von 3 festgestellt. Der KVI_i-F betrug links 3 bis 4 und rechts im Durchschnitt 2 Rückenbereiche. In der Ebene 3 (Muskulatur) verblieben beidseits einige Rami dorsales (Th9 bis Th11, L2) auf Höhe ihres Ursprungsrückenbereiches. Diese Rami dorsales besaßen einen KVI_i-M von 0. Für die übrigen Nervenäste war ein KVI_i-M von 1 bis 2 zu verzeichnen.

Eine grafische Darstellung der KVI_i der Katze 7 im Seitenvergleich zeigt die Abb. 4.19.

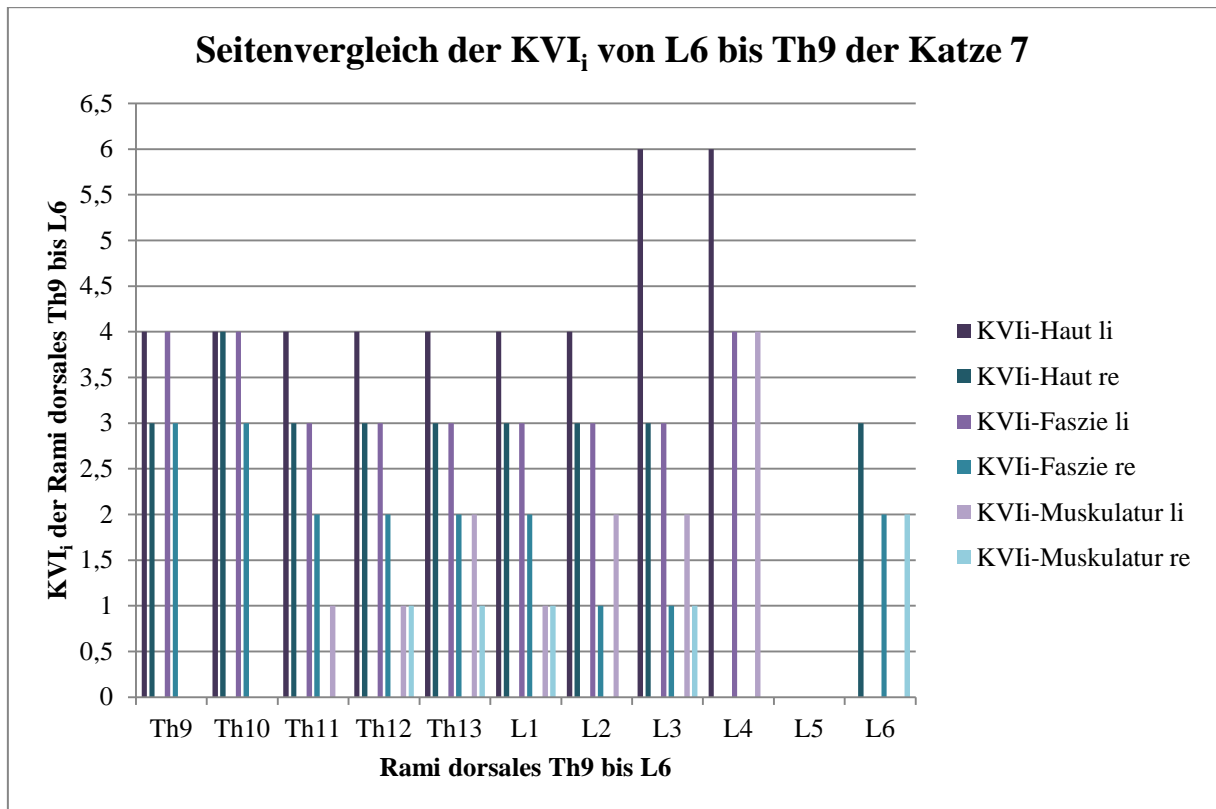


Abb. 4.19 Darstellung der KVI_i-H (Haut), KVI_i-F (Faszie) und KVI_i-M (Muskulatur) der Katze 7 im Seitenvergleich. li: linke Körperseite, re: rechte Körperseite

Die Abb. 4.19 zeigt die meist gleichbleibenden Kaudalverschiebungsindizes in der Ebene 1 (Haut) für beide Körperseiten. Zwischen der linken und rechten Körperseite unterschieden sich die KVI_i meist durch einen Rückenbereich in ihrer Länge.

Für die KVI_i einer Körperseite bestand ebenfalls eine Abstufung von einem Rückenbereich zwischen den Ebenen. Der Ramus dorsalis L6 war nur rechtsseitig ausgebildet und die KVI_i waren kürzer als die der kranialen Nerven.

Aus der Tab. 4.11 und der Abb. 4.19 lassen sich die Verhältnisse der KVI_i für beide Seiten ableiten. Die linke Körperseite zeigte ein Verhältnis des KVI_i-H zu KVI_i-F zu KVI_i-M von 4:3:2. Für die rechte Körperseite lag ein Verhältnis 3:2:1 vor.

4.6 Vermessung der Brust- und Lendenwirbelsäule

Neben der Katze 7 wurden 12 weitere Katzen (Katze 3 bis 6, Katze 8 bis 15) computertomografisch untersucht. Anhand dieser Aufnahmen war es möglich, die Länge der einzelnen Wirbelsäulenabschnitte sowie der einzelnen Lendenwirbel (L_w) zu vermessen. Diese wurden mit den ermittelten Werten der per Handmessung am Präparat verglichen und die Mittelwerte berechnet.

Relation von Brust- und Lendenwirbelsäule

Die Gesamtlänge der Lendenwirbelsäule von Katze 7 war 2,5 cm am Präparat und 2,3 cm in den CT-basierten Messungen kürzer als die der anderen Katzen. Die Messung der Länge der Brustwirbelsäule (BWS) und Lendenwirbelsäule (LWS) ergab ein Verhältnis von BWS zu LWS mit 1,13 zu 1 (im Mittel) bei den 12 Katzen mit sieben Lendenwirbeln. Dieses Ergebnis entsprach in etwa dem Verhältnis von BWS zu LWS der Katze 7 mit sechs Lendenwirbeln (1,14 zu 1).

Relationen der Lendenwirbel der Katzen untereinander

Es zeigte sich, dass die ersten beiden und der letzte Lendenwirbel der 12 Katzen mit sieben Lendenwirbeln kürzer waren, als die übrigen Lendenwirbel (Tab. 4.12). Dies konnte auch bei dem Tier mit sechs Lendenwirbeln festgestellt werden. Außerdem waren die Längen der ersten, zweiten und letzten Wirbel sehr ähnlich. Ihre durchschnittliche Größe lag für L_w1 bei 1,8 cm, für L_w2 bei 1,9 cm und für L_w3 bei 1,7 cm. Bei der Katze 7 besaßen L_w1 sowie L_w2 eine Länge von 1,9 cm und L_w6 eine Länge von 1,6 cm.

Tab. 4.12 Mittelwerte der einzelnen Lendenwirbel aus CT- und Handmessung.

		Katzen mit 7 LW		Katze mit 6 LW	
		\bar{x} einzeln	\bar{x} gesamt		\bar{x} gesamt
L1	Handmessung	1,8		2,0	
	CT-Messung	1,8	1,8	1,7	1,9
L2	Handmessung	2,0		2,0	
	CT-Messung	1,9	1,9	1,8	1,9
L3	Handmessung	2,2		2,2	
	CT-Messung	2,0	2,1	2,0	2,1
L4	Handmessung	2,3		2,2	
	CT-Messung	2,2	2,3	2,1	2,2
L5	Handmessung	2,4		1,9	
	CT-Messung	2,3	2,3	2,2	2,1
L6	Handmessung	2,2		1,4	
	CT-Messung	2,2	2,2	1,8	1,6
L7	Handmessung	1,7		—	
	CT-Messung	1,7	1,7		

\bar{x} : arithmetisches Mittel

Morphologische Beurteilung der Lendenwirbel der Katzen untereinander

Betrachtet man die verkürzte Wirbelsäule im Vergleich zu einer normal ausgebildeten, erkennt man, dass der präsakrale Wirbel ebenfalls stark ausgeprägte Procc. transversi aufwies (Abb. 4.20 b). Er war in Aufbau und Form vergleichbar mit dem siebten Lendenwirbel von Katzen mit sieben Lendenwirbeln (Abb. 4.20 a).

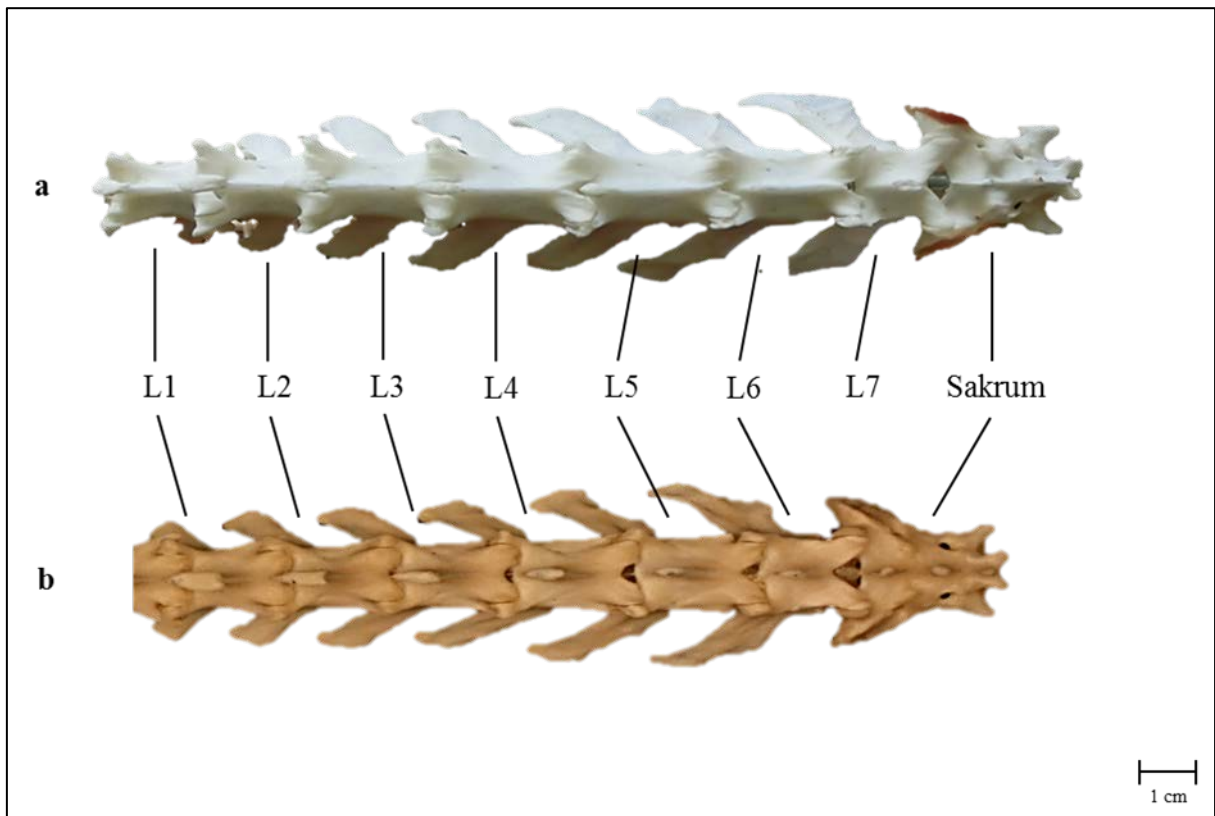


Abb. 4.20 a Lendenwirbelsäule und Kreuzbein mit 7 Lendenwirbeln.
(Katzenskelett aus der Veterinär-Anatomischen Sammlung, Leipzig)
b Lendenwirbelsäule und Kreuzbein mit 6 Lendenwirbeln (Katze 7)

Die 3D-Rekonstruktionen der computertomografischen Aufnahmen zeigten Ähnlichkeiten zwischen dem sechsten und siebten Lendenwirbel (am Beispiel der Katze 3, Abb. 4.21) und dem fünften und sechsten Lendenwirbel der verkürzten Wirbelsäule (Katze 7, Abb. 4.22).

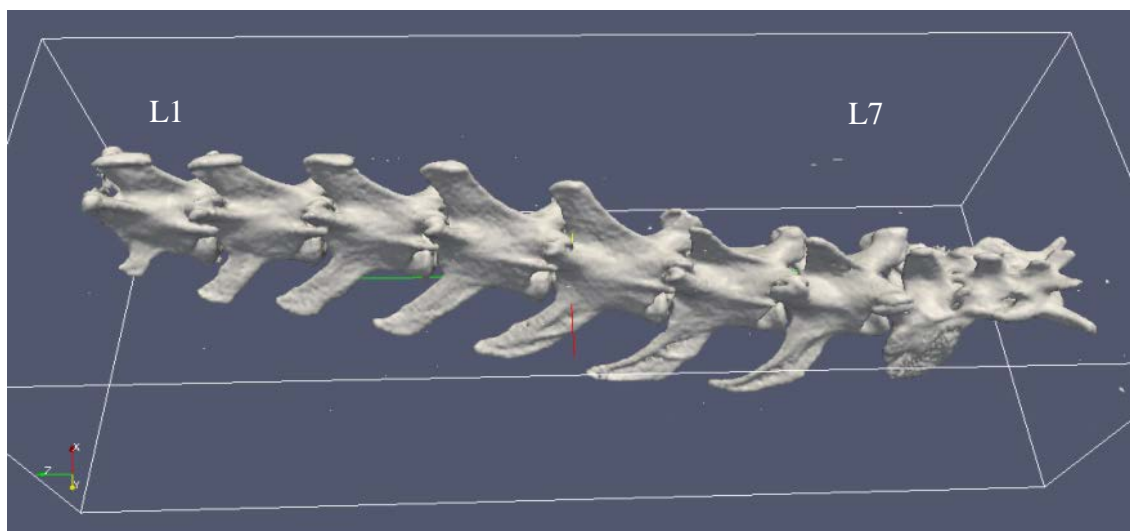


Abb. 4.21 CT-Rekonstruktion Lendenwirbelsäule mit 7 Wirbeln und Kreuzbein (Katze 3).

Die Procc. transversi des L_{W1} einer Wirbelsäule mit sieben Lendenwirbeln erschienen kürzer als die des ersten Lendenwirbels der Katze 7. Der Aufbau der Wirbelkörper sowie die

Ergebnisse

Gelenke untereinander der LWS von Katze 7 wiesen keine Veränderungen im Vergleich zu den anderen Katzen auf.

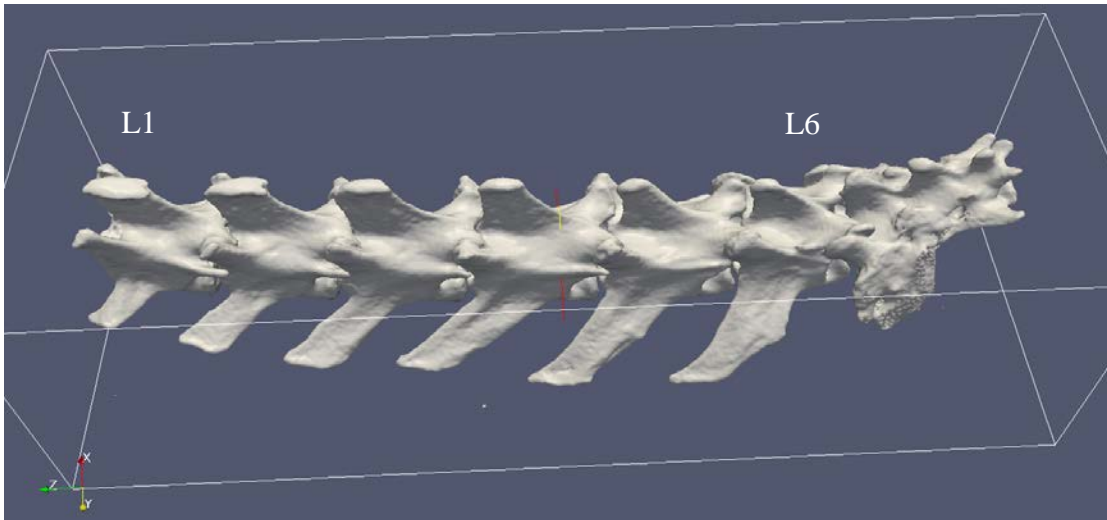


Abb. 4.22 CT-Rekonstruktion Lendenwirbelsäule mit 6 Wirbeln und Kreuzbein (Katze 7).

Das Sakrum war zu einem einheitlichen Knochen mit drei kleineren Procc. spinosi verwachsen. Es zeigte keine knöcherne Verbindung zu den Lenden- oder Schwanzwirbeln. Eine Lumbarisation des L_w7 oder eine Sakralisation eines Kreuzbeinsegments wurden nicht festgestellt.

5 Diskussion

5.1 Charakteristik des Nervenverlaufs

Eine regelmäßige symmetrische Verteilung der Rami dorsales wurde für die Spinalnerven Th9 bis L3 nachgewiesen. Die kaudal folgenden Nervenäste zeigten Unterschiede in ihrem Verlauf durch die einzelnen Schichten in Richtung zur Haut. Die Anzahl der Rami dorsales pro Körperseite lag zwischen 8 und 11 im Bereich Th9 bis L7. BERNIGAU (2013) zeigte für den Hund eine geringgradig größere Varianz in der Anzahl der Rami dorsales zwischen 3 und 7 im Bereich Th12 bis L5.

Der Ramus dorsalis L6 konnte während der Präparation bei keiner Katze dargestellt werden. Es ist möglich, dass der Ramus dorsalis des Spinalnerven L6 bei Katzen keinen Ramus lateralis ausbildet, jedoch feine Nervenfasern für die epaxiale Stammuskulatur vorhanden sind. Auch der nachfolgende Ramus lateralis des Ramus dorsalis L7 fehlte häufig. Ein präparatorisches Entfernen ist aufgrund der sich entwickelten Präparationserfahrung und dem zunehmenden Bewusstsein für die feinen Strukturen auszuschließen. Weiterhin beschreiben SALOMON (2015e) und BOGDUK (1976) eine Abwesenheit der Rami laterales und deren Hautäste in den Bereichen L6 und L7 bei Hund und Katze. Diese Aussagen unterstützen die Annahme, dass die Hautäste von L6 und L7 bei den in der vorliegenden Studie untersuchten Katzen nicht angelegt waren. Zudem war die Innervation der Haut durch die kranial gelegeneren Rami dorsales L3, L4 und L5 für den kaudalen Lenden- und Sakralbereich gegeben (Abb. 4.14. und Abb. 4.15).

Zu den Rami dorsales der Rückenbereiche L2 und L3 (Katze 2, linke Seite) und Th12 (Katze 10, beidseits) zeigten sich außerdem zusätzliche Rami ventrales. In dem Rückenbereich Th13 (Katze 15, rechte Körperseite) gab es einen Ramus ventralis, jedoch keinen Ramus dorsalis. Diese Rami ventrales traten auf Höhe der Rami dorsales durch die Fascia thoracolumbalis (Tab. 4.1). Sie innervierten zum Teil die Hautgebiete, an denen kein Ramus dorsalis dargestellt werden konnte. BERNIGAU (2013) wies in den Bereichen L3, L4 und L5 bei der Hälfte der untersuchten Hunde ebenfalls Rami ventrales nach, deren Innervationsgebiete denen der Rami dorsales gleichkamen und sich mit den angrenzenden überlappten.

Die Katze 10 wies keinen Ramus dorsalis Th13 auf der linken Seite auf. Der Ramus dorsalis Th13 der rechten Seite war vorhanden und trat im Bereich L1 in die Unterhaut ein. Auf der linken Körperseite innervierte stattdessen der zusätzliche Ramus ventralis aus dem Bereich Th12 den Bereich L1. Der fehlende Ramus dorsalis Th13 der rechten Seite wurde bei Katze 15 durch den Ramus ventralis Th13 ersetzt. Der rechte Ramus ventralis Th13 verlief entsprechend dem linken Ramus dorsalis Th13. Beide innervierten auf der jeweiligen Körperseite die Haut im Rückenbereich L3. Bei Katze 2 traten die Rami ventrales L2 und L3

auf der rechten Seite in den Rückenbereichen L5 und L6 in die Unterhaut ein. Diese Bereiche wurden zudem durch die Rami dorsales Th13 und L1 versorgt.

Die Rami dorsales wurden von kleinen Gefäßen begleitet. Dabei könnte es sich um den unter anderem von HEINE (1988) als Gefäß-Nervenbündel bezeichneten Verbund einer Venole, Arteriole und eines Nerven handeln. Die gemeinsame Hülle dürfte der von EGERBACHER (1993, 1991) beschriebenen bindegewebigen Manschette entsprechen.

Weitere Unterschiede lagen in der Ausbildung der Rami dorsales L4 und L5 vor. Der Ramus dorsalis L4 war bei Katze 15 nur linksseitig und bei Katze 6 gar nicht vorhanden. Der Ramus dorsalis L5 fehlte außer bei den Katzen 1, 2, 4, 10 und 11 beidseits. Bei der Katze 5 war der Ramus dorsalis L5 rechts und bei Katze 12 links ausgebildet. Da die Präparation schichtweise erfolgte und sich in den tiefer gelegenen Schichten keine Anteile durchtrennter Nerven zeigten, kann der präparationsbedingte Verlust der Nerven ausgeschlossen werden. Gerade die interindividuellen Unterschiede der Lendennerven L4, L5 und L7 sind vor allem für die Akupunktur und die manuellen Therapien von Interesse. Durch das Fehlen von Rami dorsales am Rumpf sollten therapeutische Maßnahmen, wie z. B. das Anlegen eines TENS-Gerätes, daher bei der Katze über mehrere Rückenbereiche erfolgen. Denn die direkte Anwendung über einem Nerven erzielt das beste Ergebnis (GARRISON und FOREMAN 2002). Weiterhin werden Spinalnerven bei Massagen angesprochen und therapeutisch genutzt, um auf innere Organe Einfluss zu nehmen (SCHLIACK 1982). Es ist dadurch wichtig, den Massagebereich und die Massagetechnik an die anatomischen Gegebenheiten anzupassen und tierartliche Unterschiede einzubeziehen. Auch Akupunkturpunkte liegen meist in räumlicher Nähe zu Innervationszentren der Haut oder nervalen Durchtrittsstellen, wie sie unter anderem EGERBACHER (1991) und HEINE (1988) beschrieben. Bei Abwesenheit des Nerven ist es fraglich, ob es therapeutisch sinnvoll ist, diesen Punkt zu nadeln. Weiterhin gibt es deutliche Unterschiede zur Nervenausprägung zwischen Hund und Katze. In der Arbeit von BERNIGAU (2013) waren nur Rami dorsales bis L5 beim Hund nachweisbar. Dies erschwert die Übertragbarkeit von Akupunkturtafeln des Hundes auf die Katze.

Die von NICKEL et al. (2003a) und BOGDUK (1976) beschriebenen Rami intermedii der Rami dorsales L1 bis L6 (L5) wurden bei den Katzen nicht beobachtet. Zudem zeigte nur Katze 2 Rami cutanei mediales in Th13 bis L6 zur Versorgung der dorsalen Rumpfhaut. Die Trennung des Ramus lateralis des Ramus dorsalis der Katze 2 in den lateralen und medialen Hautast geschah in Ebene 2 auf Höhe der Fascia thoracolumbalis. Das entspricht der Aussage von SCHALLER (1956), der eine Aufteilung des Ramus lateralis in seine Hautäste beim Durchtritt durch die Fascia thoracolumbalis beschreibt. Es besteht die Möglichkeit, dass die Rami cutanei mediales des Ramus lateralis nicht regelmäßig ausgebildet waren und dadurch bei den anderen Katzen nicht dargestellt werden konnten. Auch ein präparationsbedingtes Abtrennen der Nervenäste ist denkbar. Jedoch konnten an den Verzweigungsstellen der Rami laterales auf Höhe der Faszie keine Überreste festgestellt werden, die auf ein Entfernen der Rami cutanei mediales hindeuteten.

Der Nervenverlauf durch die präparierten Schichten zur Haut kann nicht generalisiert werden. Gestützt auf die Aussagen von NICKEL et al. (2003a) und ARNOLD und KITCHELL (1957) wurde vom Austritt aus dem Foramen intervertebrale bis zum Eintritt in die Haut eine kaudoventrale Verlaufsrichtung der Rami dorsales erwartet. Diese These konnte durch die Ergebnisse nicht bestätigt werden. Für die Auswertung der paramedianen Verschiebung der Rami dorsales zwischen den Schichten wurden die Ebenen 3 (Muskulatur) und 2 (Faszie) betrachtet. Es zeigte sich, dass die Rami dorsales neben dem kaudoventralen auch einen kaudodorsalen Verlauf in Richtung Haut einnehmen oder auf gleicher Höhe verbleiben. Der kaudodorsale Verlauf könnte sich in einer Muskelhypertrophie begründen. Dagegen spricht jedoch die Tatsache, dass es auf derselben Körperseite alle Verlaufsrichtungen gibt. Diese wären bei einer möglichen Muskelhypertrophie gleichgerichtet. Bis auf den Ramus dorsalis L4 und L5 der rechten Seite zeigten die Rami dorsales Th9 bis L7 bei allen Tieren sowohl einen ventralen, dorsalen als auch einen horizontalen Verlauf zwischen den Ebenen. Der rechte Ramus L4 war bei allen Katzen kaudoventral gerichtet. Der Ramus dorsalis L5 verblieb rechts nie auf seiner paramedianen Durchtrittshöhe, sondern zeigte stets einen dorsalen oder ventralen Verlauf.

Bei der Betrachtung der paramedianen Verschiebung der Rami dorsales innerhalb der Ebene 3 (Muskulatur) und Ebene 2 (Faszie) zeigten sich beide Körperseiten unsymmetrisch (siehe Abb. 4.7 bis Abb. 4.10). Dies entspricht nicht der in der Literatur beschriebenen Auffassung, dass beide Körperhälften einer Symmetrie unterliegen, welche embryologisch doch bereits festgelegt sein sollte (MICHEL 1995). Eine gedachte Linie zwischen den einzelnen Rami dorsales stellt sich zudem mehr als eine Zickzacklinie anstatt einer erwarteten Geraden dar (Beispiel Katze 12, Abb. 5.1 und Abb. 5.2). Untersuchungen am Hund von BERNIGAU (2013) zeigen ebenfalls unterschiedliche Durchtrittshöhen der Rami dorsales durch die Muskulatur und die Fascia thoracolumbalis. Dabei wiesen sie eine gewisse Tendenz zur Vergrößerung des paramedianen Abstandes in kaudale bzw. kraniale Richtung auf.

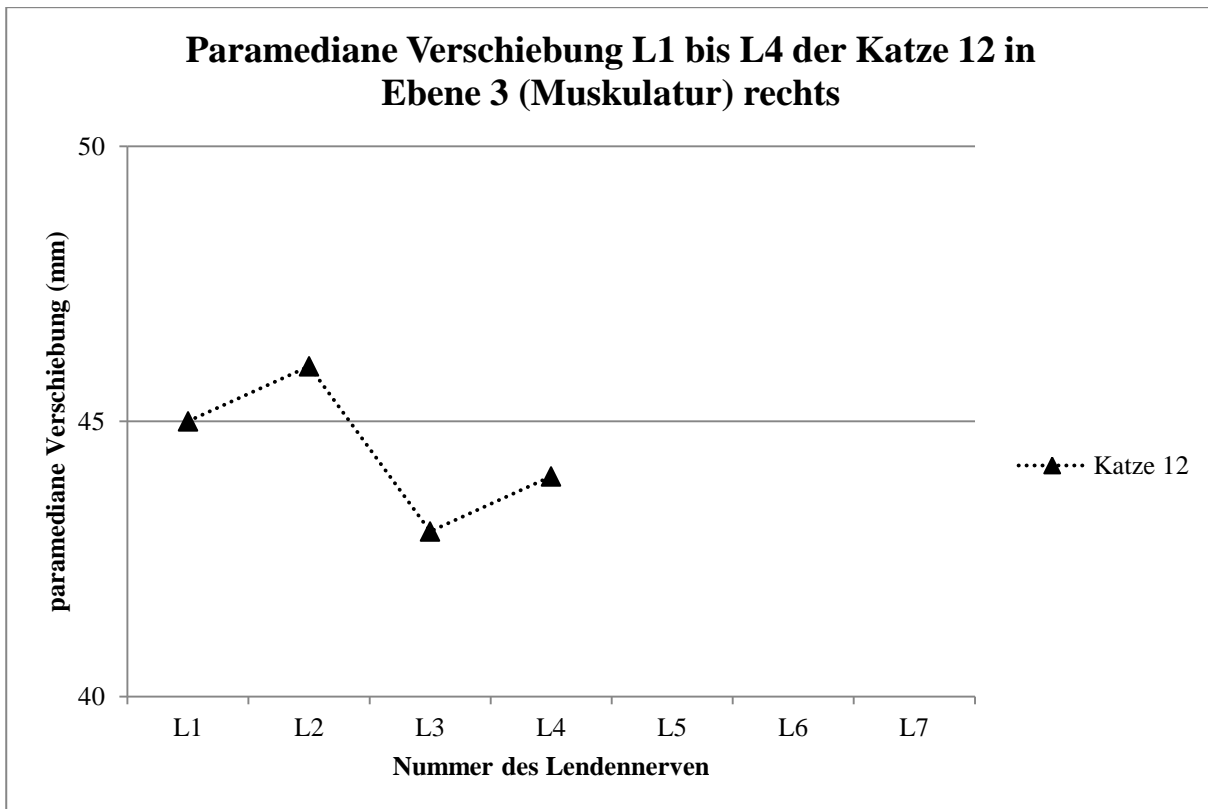


Abb. 5.1 Darstellung einer gedachten Linie zwischen den Durchtrittspunkten der Rami spinales L1 bis L7 der Katze 12 durch die Ebene 3 (Muskulatur) der rechten Seite.

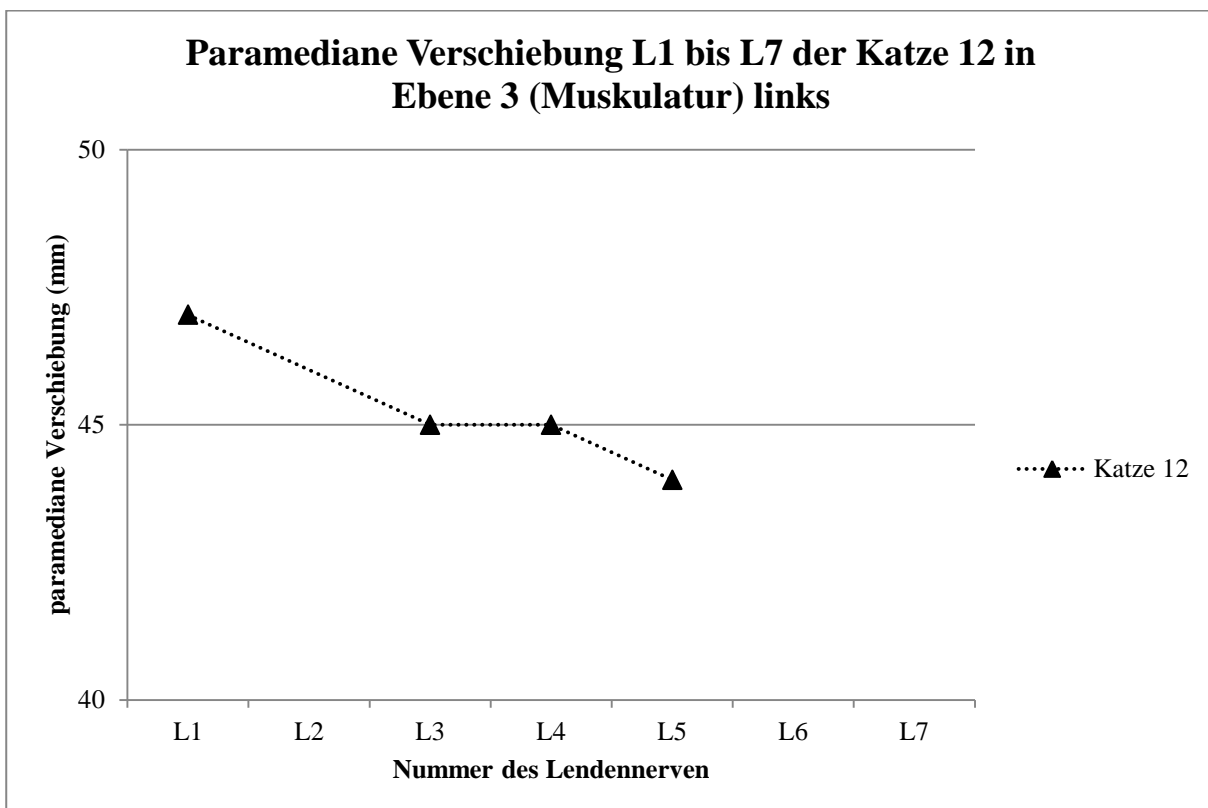


Abb. 5.2 Darstellung einer gedachten Linie zwischen den Durchtrittspunkten der Rami spinales L1 bis L7 der Katze 12 durch die Ebene 3 (Muskulatur) der linken Seite.

5.2 Kaudalverschiebungsindizes ausgewählter Brust- und Lenden-nerven

Der Kaudalverschiebungsindex (KVI) gibt Aufschluss über den zurückgelegten Weg der Rami dorsales von ihrem Austritt aus dem Foramen intervertebrale durch die Ebenen hindurch bis zu ihrem Eintritt in die Haut. Der KVI wurde von BERNIGAU (2013) definiert. Er wird zum einen für die einzelnen Katzen (KVI_j) und zum anderen für die einzelnen Rami dorsales der Spinalnerven Th9 bis L7 (KVI_i) für die verschiedenen Ebenen beschrieben.

Es handelt sich bei den KVI_j um Durchschnittswerte von 14 Tieren, welche Unterschiede zwischen den Körperseiten aufweisen. Die KVI_j -H beider Körperseiten zeigten eine Differenz von 0,19. Für die KVI_j -M lag der Unterschied bei 0,09. Die KVI_j -F besaßen zwischen beiden Körperseiten den geringsten Abstand mit 0,05. Die KVI_j -H und KVI_j -M sind auf der linken Seite größer als auf der rechten und besitzen damit linksseitig eine größere Kaudalverschiebung innerhalb der Ebene. Im Gegensatz dazu ist der KVI_j -F der rechten Körperseite größer und zeigt damit rechtsseitig eine größere Kaudalverschiebung in Ebene 2 (Faszie). Die größte Divergenz von 0,19 des Seitenvergleichs wird in der Ebene 1 (Haut) deutlich und ist bedingt durch einen individuelleren Eintritt der Nerven in die Haut.

Der Seitenvergleich eines einzelnen Tieres zeigt meist nur geringe Unterschiede zwischen den Kaudalverschiebungen in den Ebenen. Dabei beschränken sich die längeren KVI_j überwiegend auf eine Körperseite. Das könnte auf die Länge der einzelnen Nerven zurückzuführen sein, welche sich individuell ausbilden. Bei den Katzen 4, 6 und 8 wechseln die KVI_j der Schichten jedoch zwischen den Körperseiten. Es sind aber auch größere Unregelmäßigkeiten in den KVI_j der linken gegenüber der rechten Seite bei den Katzen 6, 10, 11 und 14 in Ebene 3 (Muskulatur) zu beobachten. Die Katzen 5 und 10 zeigen ebenfalls in Ebene 1 (Haut) deutliche Unterschiede im Seitenvergleich. Dadurch sind die KVI_j der linken Seite für die Haut und Muskulatur etwas größer als auf der rechten Seite. Diese Ergebnisse untermauern die Aussage von CUI und YUAN (2007) über eine erhöhte individuelle Variabilität in der Ausprägung und Verzweigung von Gefäßen und Nerven in der Körperperipherie. BERNIGAU (2013) zeigte dies bereits für eine Körperseite bei Hunden. Die vorliegende Arbeit veranschaulicht diese individuelle Verzweigung der Nerven und ihren Verlauf erstmalig für Katzen und im Seitenvergleich. Damit wird auch an dieser Stelle erkennbar, dass trotz einer grundsätzlich angelegten Körpersymmetrie nicht immer von einer exakt bilateral symmetrischen Anlage von Nerven auszugehen ist.

Dennoch besaßen einige Katzen vergleichbare KVI_j . Bei den Katzen 2, 9 und 12 entspricht der KVI_j -M der linken Seite dem KVI_j -M der rechten Seite. Bei der Katze 5 ist der KVI_j -F und bei der Katze 9 der KVI_j -H für beide Seiten identisch. Auch hier bestehen individuelle Unterschiede zwischen den Körperseiten eines Tieres als auch den einzelnen Tieren untereinander.

Jedoch liegt für beide Körperseiten ein Verhältnis von im Mittel 3:2:1 für die einzelnen Schichten vor. Es berechnet sich aus den Mittelwerten der KVI_i -H, KVI_i -F und KVI_i -M der jeweiligen Seite. Das Verhältnis von 3:2:1 zeigt, dass der Kaudalverschiebungsindex von Ebene 3 (Muskulatur) zu Ebene 1 (Haut) ansteigt und sich im Durchschnitt um 1 vergrößert. BERNIGAU (2013) wies dieses Verhältnis ebenfalls für den Hund nach (Tab. 5.1).

Tab. 5.1 Vergleich der KVI_i zwischen Hund und Katze. Ergebnisse Hund nach BERNIGAU (2013).

	<i>Länge LWS</i>	<i>KVI_i-H</i>	<i>KVI_i-F</i>	<i>KVI_i-M</i>
Hund	19,93 cm	2,84	1,87	1,16
Katze links	14,52 cm	2,84	2,17	1,09
Katze rechts	14,52 cm	2,69	2,20	1,00
		3	2	1

Trotz einer unterschiedlichen durchschnittlichen Länge der Lendenwirbelsäulen zwischen Hund und Katze konnte das gleiche Verhältnis zwischen den Schichten bestätigt werden. Die Kaudalverschiebung scheint daher zwischen Katze und Hund übertragbar zu sein. Die größte Kaudalverschiebung zeigt sich mit einem KVI_i -H von 3 in der Haut. BERNIGAU (2013) wies ebenfalls eine Kaudalverschiebung von bis zu drei Rückenbereichen für die Rami dorsales beim Hund nach. BAILEY et al. (1984) beschrieben eine kaudale Verschiebung der lumbalen Dermatome von 3 Wirbelkörperlängen. Zudem bekräftigt die ermittelte Kaudalverschiebung die Aussage von KUHN (1953), der bereits eine generelle Kaudalverschiebung der Dermatome zu ihrem Ursprungssegment bei der Katze beschrieb. Da bei Hund und Katze eine ausgeprägte Verschieblichkeit der Haut am Rumpf besteht (SEIFERLE und FREWEIN 2003), erscheint es naheliegend, dass die innervierenden Nerven eine gewisse Länge besitzen müssen. Da Nerven per se nicht dehnbar sind, liegen sie in ihrem Verlauf regional unterschiedlich stark geschlängelt vor, um den Bewegungen folgen zu können. Dies würde eine Kaudalverschiebung von durchschnittlich 3 Rückenbereichen bis in die Haut erklären.

Die beidseitige Betrachtung der KVI_i der einzelnen Rami dorsales der Katzen in den verschiedenen Ebenen zeigte nur geringe Differenzen der KVI_i zwischen den Körperseiten. Für den Ramus dorsalis L1 war der KVI_i -H mit 3,07 und der KVI_i -F mit 2,00 für beide Körperseiten sogar identisch. Die Ebenen 2 (Faszie) und 3 (Muskulatur) unterlagen einer Abnahme der KVI_i von kranial nach kaudal. Die Ursache kann durch die makroskopische Betrachtung nicht geklärt werden. Es besteht die Möglichkeit, dass der Körperbau der Katzen die KVI_i begrenzt und der KVI_i -F sowie der KVI_i -M sich dadurch allmählich nach kaudal verkürzen. Die KVI_i des Nervenastes L7 besaßen in allen Ebenen einen Mittelwert von 1. Dies könnte ebenfalls auf Begrenzungen durch den Körperbau zurückgeführt werden.

Zudem besteht räumliche Nähe zur Hintergliedmaße und dem Plexus lumbosacralis. Der Plexus innerviert über Hautnerven die Haut der Gliedmaße und zum Teil der Glutäalgegend. Diese Areale müssten somit nicht über die Rami dorsales erreicht werden und könnten ebenfalls ein Grund für die abnehmende Kaudalverschiebung sein.

Durch den embryonalen bzw. fetalen scheinbaren Ascensus medullae spinalis wird die Wegstrecke der lumbalen Spinalnerven vom Ursprung aus dem Rückenmark bis zum Erreichen des Foramen intervertebrale länger. SCHÜRMANN (1951) wies nach, dass die Kranialverschiebung des Rückenmarks gegenüber der Wirbelsäule im vorderen Brust- und hinteren Lendenbereich am größten ist. Das könnte eine weitere Erklärung für die Kaudalverschiebung und Länge der Spinalnerven im Rumpfbereich sein. Zudem legen die kaudalen Spinalnerven dadurch bereits innerhalb des Wirbelkanals einen größeren Weg bis zu ihrem Austritt durch das Foramen intervertebrale zurück. Dies lässt den Schluss zu, dass sie außerhalb des Wirbelkanals kürzer sind als die kranial gelegenen Spinalnerven, sich in ihrer eigentlichen Gesamtlänge jedoch entsprechen. Weitere Untersuchungen könnten zeigen, ob diese These zutrifft.

Die Mittelwerte der KVI_I-H, KVI_I-F und KVI_I-M lagen bei 3, 2 und 1. Dadurch ergab sich das gleiche Verhältnis von 3:2:1 für Haut zu Faszie zu Muskulatur.

5.3 Innervationsbereiche der lumbosakralen Haut

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie beschreiben die Eintrittspunkte der Rami dorsales in die Haut. Die dargestellten Innervationsbereiche sind damit keine Dermatome im eigentlichen Sinn. Sie entsprechen eher den von WANCURA-KAMPIK und FANGHÄNEL (2009) und ELZE (1961) beschriebenen „subkutanen Dermatomen“.

Die KVI_I-H Min und KVI_I-H Max stellen die geringste und größte nachgewiesene Kaudalverschiebung der Rami dorsales dar (Tab. 4.6 und Tab. 4.7). Sie bezieht sich nur auf die Eintrittsstelle der Rami dorsales in die Unterhaut. Die Verzweigung der Rami dorsales nach dem Eintritt in die Haut wurde in dieser Arbeit nicht betrachtet.

Es ist davon auszugehen, dass sich der Eintritt eines Nerven im Zentrum des Dermatoms befindet. Darauf weisen die Ergebnisse von HEKMATPANAH (1961) hin, die eine Zunahme der elektrischen Aktivität im Zentrum des Dermatoms verzeichneten. BAILEY et al. (1984) berichteten von einer zentralen Innervationszone im Dermatome. Die Ausdehnung eines Dermatoms belief sich bei BAILEY et al. (1984) auf eineinhalb Wirbelkörper. Bei der Katze konnte HEKMATPANAH (1961) eine Weite der Dermatome von drei Wirbelkörperlängen darstellen. Betrachtet man die Angaben über die Dermatomegrenzen von BAILEY et al. (1984) und HEKMATPANAH (1961) mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, erkennt man Übereinstimmungen zwischen den kaudalen Grenzen und den KVI_I-H Max der 14 Katzen (Tab. 5.2). Für die kranialen Grenzen liegen deutliche Unterschiede zwischen Hund und Katze vor. Für den Hund liegen die kranialen Grenzen der Dermatome zwischen 2 und 3 Wirbel kaudaler der KVI_I-Min und den Dermatomegrenzen der Katze nach HEKMATPANAH

(1961). Die Ergebnisse der kranialen Dermatombegrenzen von HEKMATPANAH (1961) entsprechen hingegen den KVI_I-H Min dieser Arbeit (Tab. 5.2).

Tab. 5.2 Gegenüberstellung der Dermatombegrenzen modifiziert nach BAILEY et al. (1984) und HEKMATPANAH (1961) mit den KVI_I-H Min und KVI_I-H Max.

			<i>L1</i>	<i>L2</i>	<i>L3</i>	<i>L4</i>
<i>kraniale Grenze</i>	Hund	BAILEY et al. (1984)	L _w 4-5	L _w 5-6	L _w 6-7	L _w 7-K _w 1
	Katze	HEKMATPANAH (1961)	L _w 2	L _w 2-3	L _w 4	—
		KVI_I-H Min links	L _w 2	L _w 3	L _w 4	L _w 5
		KVI_I-H Min rechts	L _w 2	L _w 3	L _w 4	L _w 5
<i>kaudale Grenze</i>	Hund	BAILEY et al. (1984)	L _w 5-7	L _w 6-7	L _w 7-K _w 3	K _w 1-3
	Katze	HEKMATPANAH (1961)	L _w 4-5	L _w 4	L _w 6-7	—
		KVI_I-H Max links	L _w 5	L _w 6	L _w 7	K _w 2
		KVI_I-H Max rechts	L _w 6	L _w 7	S _w 2	K _w 3

L_w: Lendenwirbel; K_w: Kreuzwirbel; S_w: Schwanzwirbel

Die KVI_I-H Min und KVI_I-H Max stellen keine eigentlichen Dermatombegrenzen dar, sondern Eintrittspunkte der Rami dorsales in die Haut. Da diese im Zentrum des Innervationsgebietes liegen, kommen sie diesen jedoch nahe. Ausgehend von den Eintrittspunkten der Rami dorsales in die Haut und zusammen mit den Ergebnissen von BAILEY et al. (1984) und HEKMATPANAH (1961) kann man sich die kranialen und kaudalen Grenzen der Dermatome herleiten. Nach HEKMATPANAH (1961) umfasst ein Dermatome eine Weite von 3 Wirbelkörperlängen. Das bedeutet, dass das Dermatome mit eineinhalb Wirbelkörpern kranial und kaudal der Eintrittsstelle in die Haut liegt. Für die Darstellung der Dermatome in Abb. 5.3 wurde der Mittelwert KVI_I-H verwendet.

Mithilfe der KVI_I-H Min, KVI_I-H Max und KVI_I-H können der Nervenverlauf, die Eintrittsstellen in das Zentrum des Dermatoms und damit der Ausgangspunkt der Innervation hergeleitet werden. Ausgehend vom Dermatome L1 beginnt die Innervation der Lendengegend auf Höhe des L_w3 und erstreckt sich durch das Dermatome L7 bis zu den ersten S_w auf beiden Körperseiten.

Die abgeleiteten Dermatome in Abb. 5.3 geben zudem Auskunft über ihre Überlappung. Die Dermatome der rechten Körperseite zeigen ein Überlappen von über zwei Dritteln des jeweils kaudal angrenzenden Dermatoms. Die Überschneidung der Dermatome ist damit größer als die für den Hund von BAILEY et al. (1984) sowie TEN CATE und WATERMAN (1932) beschriebenen Überlappungen von bis zu zwei Dritteln. Interessanterweise befindet sich bei den in dieser Arbeit untersuchten Katzen das Dermatome L5 kranial des Dermatoms L4. Für dieses Ergebnis kann keine plausible Erklärung gefunden werden. Weiterführende anatomische und eventuell elektrophysiologische Untersuchungen könnten diese Resultate verifizieren.

Die Dermatome der linken Körperseite unterscheiden sich deutlich von denen der rechten Seite. Sie stellen sich entsprechend ihrer zugehörigen Spinalnerven L1 bis L7 von kranial nach kaudal dar. Zudem überlappen sich die Dermatome L4 bis L7 fast vollständig. Dennoch war eine lückenlose Innervation der Haut gegeben. Es zeigt sich, dass trotz der Abwesenheit des Ramus dorsalis L6 alle Bereiche der Lendengegend innerviert wurden. Für die Innervationsbereiche mit den KVI_i-H Min und KVI_i-H Max (Abb. 4.14 und Abb. 4.15) treffen die Ergebnisse von BAILEY et al. (1984) und TEN CATE und WATERMAN (1932) für beide Körperseiten zu.

Diese Informationen sind wichtig für alle Bereiche der manuellen Therapie, TENS-Behandlungen und der Akupunktur. MAYOR (2008) und GESSLER (1991) beschrieben, wie wichtig die Lage der Dermatome für Behandlungen mit TENS-Geräten ist. MAYOR (2008) wies einen Zusammenhang zwischen Dermatomen und den sogenannten Shu-Punkten und ihrer dadurch bedingten Organzugehörigkeit nach. Auch SANCHEZ-ARAUJO und LUCKERT-BARELA (2014) zeigten, dass die Zugehörigkeit der Akupunkturpunkte zu den Dermatomen ausschlaggebend ist. Das macht deutlich, wie wichtig Kenntnisse über den Verlauf von Nerven und die Lage von Dermatomen sind. Laut KNOSPE (2007) befinden sich an den Überlappungszonen der Dermatome die sogenannten Maximalpunkte, welche er mit Akupunkturpunkten auf Meridianen gleichsetzt. In seiner Abbildung 1 (Abb. 2.10) werden Dermatome der Katze pauschalisiert dargestellt. Die Zuordnung der innervierenden Hautäste ist durch die Legende nicht eindeutig. Auch die Verweise auf die Ergebnisse von KITCHELL et al. (1982) und HEKMATPANAH (1961) entsprechen nicht den abgebildeten Dermatomen, da die Autoren sich mit Untersuchungen der Vordergliedmaße (KITCHELL et al. 1982) bzw. den Bereichen zwischen C1 und L4 (HEKMATPANAH 1961) befassten. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen jedoch deutlich, dass eine Verallgemeinerung von Nervenverläufen und Dermatomen nicht zielführend ist. Neben den individuellen Unterschieden der Katzen untereinander bestehen auch interindividuelle Unterschiede zwischen den Tierarten. Eine Übertragung von Dermatomen, Akupunkturtafeln oder Triggerpunkten zwischen den verschiedenen Tierarten erscheint dahingehend nicht sinnvoll und sollte für jedes Tier jeglicher Art einzeln betrachtet werden.

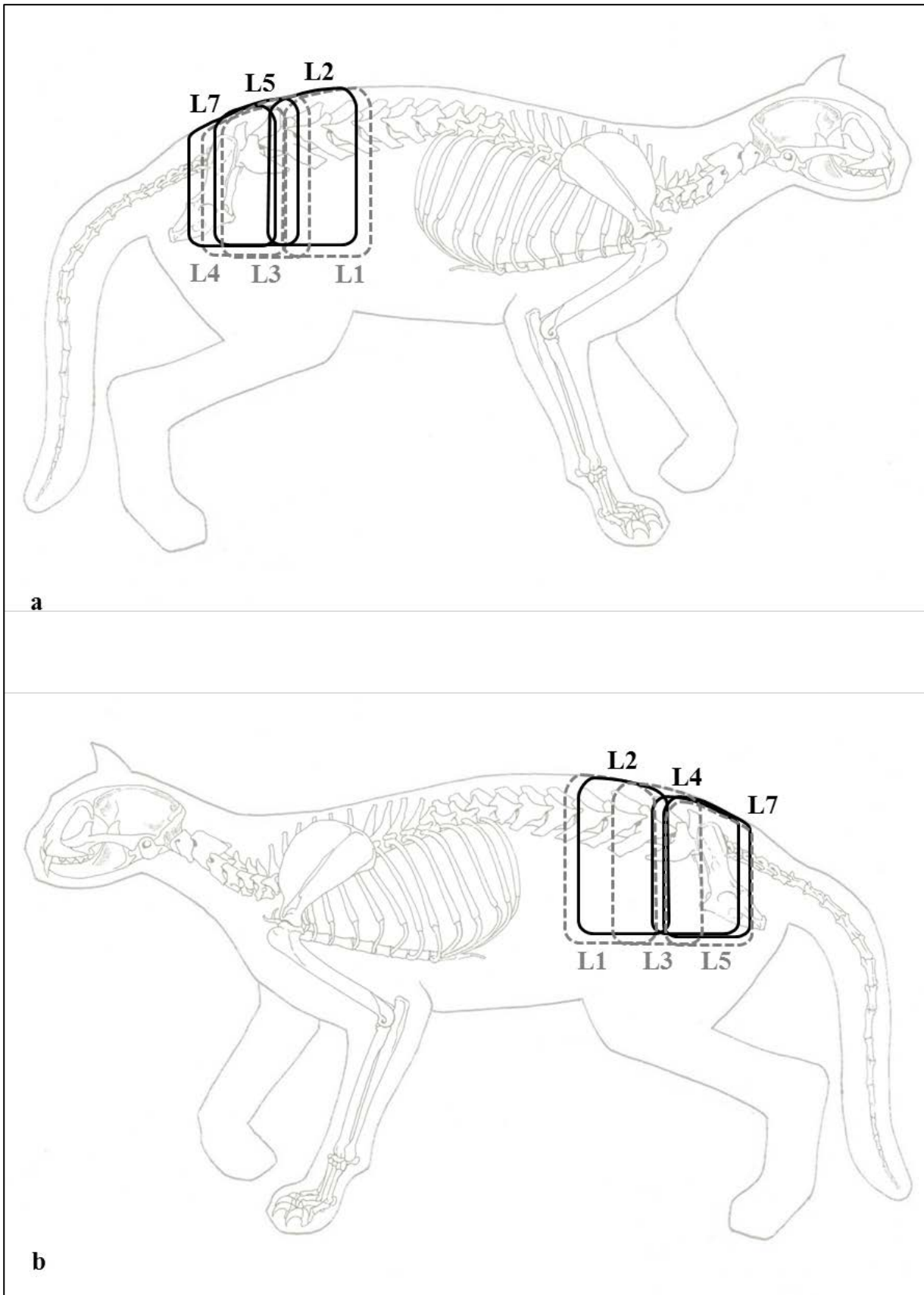


Abb. 5.3 Abbildung mit eingezeichneten nach HEKMATPANAH (1961) modifizierten Dermatomen orientiert an den KVI_i-H.
a Rechte Körperseite
b Linke Körperseite

5.4 Morphometrische Analyse der Lendenwirbelsäule

Für beide Körperseiten konnte zwischen der Länge der Lendenwirbelsäule und der Kaudalverschiebungsindizes kein linearer Zusammenhang für die Ebene 1 (Haut) und Ebene 3 (Muskulatur) festgestellt werden. Für die Ebene 2 (Faszie) ergab sich für die linke Seite eine geringe Korrelation von 24,05% und auf der rechten Seite von 12,4%. Diese Werte sind sehr gering und nur für die Ebene 2 (Faszie) nachweisbar. Es ist davon auszugehen, dass kein linearer Zusammenhang zwischen der Länge der Lendenwirbelsäule und den einzelnen KVI_i besteht. Das entspricht dem Ergebnis von BERNIGAU (2013) für den Hund. Bei den von ihr untersuchten Hunden konnte ebenfalls kein linearer Zusammenhang zwischen der Lendenwirbelsäulenlänge und der einzelnen Kaudalverschiebungsindizes dargestellt werden.

Der Vergleich der CT-Messung und Freihandmessung der Lendenwirbelsäulenlänge zeigt, dass sich über 95% der Werte im Bereich der Standardabweichung des Bland-Altman Plots befinden. Dies lässt bereits auf eine Normalverteilung der Werte schließen. Zudem zeigen beide Messmethoden eine statistisch signifikante Korrelation ($p = 8,74 \times 10^{-5}$). Daraus kann abgeleitet werden, dass beide Messmethoden gegeneinander austauschbar sind.

Durch die geringe Gruppengröße der untersuchten Tiere wurde ein Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung gewählt. Dabei besagt die Nullhypothese, dass die Daten normalverteilt sind ($p > 0,05$). Mit dem Shapiro-Wilk Test wird gegen eine Normalverteilung getestet. Die Annahme, dass keine Normalverteilung vorliegt, konnte durch die Ergebnisse nicht bestätigt werden ($p = 0,881$ und $p = 0,0692$).

5.5 Nervenverlauf und Kaudalverschiebungsindizes der Katze 7

Bei der Katze 7 lag eine symmetrische Verteilung der Nerven Th9 bis L3 vor. Dies entspricht den Ergebnissen der anderen 14 Katzen. Im Bereich L5 konnte beidseits kein Ramus dorsalis nachgewiesen werden. Dieser entspricht bei diesem Tier dem vorletzten Lendennerven, welcher bei den übrigen Katzen (L6) ebenfalls fehlte. Der Ramus dorsalis L6 war nur rechtsseitig, entsprechend den Ergebnissen des Ramus dorsalis L7 der Katzen 2, 4, 5 und 14, ausgebildet.

Das Verhältnis der KVI_i entsprach auf der rechten Seite mit 3:2:1 von Haut zu Faszie zu Muskulatur dem Verhältnis der anderen untersuchten Katzen. Auf der linken Seite war das Verhältnis der KVI_i 4:3:2 von Haut zu Faszie zu Muskulatur. Eine mögliche Ursache für die größere Kaudalverschiebung könnte der nicht ausgebildete linke Ramus dorsalis L6 sein. Durch die Kaudalverschiebung der kranialen Nerven ist die Innervation der Haut dennoch gegeben. Zudem gab es einen Ramus ventralis L6 auf der rechten Seite, der auf gleicher Höhe mit dem Ramus dorsalis L6 durch die Fascia thoracolumbalis trat.

Die Unterschiede der KVI_i zwischen den Ebenen einer Seite lagen bei bis zu 2 Rückenbereichen. Ausnahmen waren die Rami dorsales Th10 und Th9. Dort lag die Differenz auf der linken Seite bei 4 und auf der rechten Seite bei 3 Rückenbereichen zwischen den

Ebenen 2 (Faszie) und 3 (Muskulatur). Diese Ausnahmen können auf Unterschiede in der Ausbildung und des Verlaufs der Nerven zurückgeführt werden.

Die KVI_i einer Ebene im Seitenvergleich zeigten einen Unterschied von 1 bis 2 Rückenbereichen. Die Differenzen der KVI_i der anderen untersuchten Katzen waren im Vergleich zu Katze 7 geringer und lagen meist deutlich unter einem Rückenbereich.

Die Katze 7 ist ein gutes Beispiel dafür, wie sehr genaue anatomische Kenntnisse von grundlegender Bedeutung in allen medizinischen Bereichen, insbesondere der Komplementären Medizin, sind. Auch hier wird deutlich, dass nicht immer von einer Symmetrie in allen Bereichen ausgegangen werden kann. Katze 7 zeigt, wie wichtig eine gründliche Untersuchung mit besonderem Blick auf anatomische Besonderheiten für eine erfolgreiche Therapie ist.

5.6 Vermessung der Brust- und Lendenwirbelsäule

Das Längenverhältnis zwischen Brust- und Lendenwirbelsäule von 1,14 zu 1 der Katze 7 entsprach in etwa dem Verhältnis von BWS zu LWS von 1,13 zu 1 der anderen Katzen. Dies lässt darauf schließen, dass ein vergleichbares Verhältnis zwischen der BWS und der LWS bei Katzen vorliegt. Während des Wachstums scheint sich die Wirbelsäule an Veränderungen anzupassen, um dieses Verhältnis aufrecht zu erhalten.

Der makroskopische Vergleich der Lendenwirbel zwischen der Katze 7 und den anderen Katzen zeigte trotz der reduzierten Anzahl an Lendenwirbeln eine starke morphologische Ähnlichkeit zwischen den jeweils ersten beiden und letzten beiden Lendenwirbeln. Auch die gemessenen Längen dieser Wirbel stimmten annähernd überein. Unterschiede zeigten sich in der morphologischen Betrachtung der einzelnen Wirbelkörper. Dabei fiel auf, dass die Procc. transversi des L_w1 der Lendenwirbelsäulen mit 7 Wirbeln kürzer waren, als die des L_w1 der Lendenwirbelsäule von Katze 7.

Veränderungen am Kreuzbein, wie sie bei NEWITT et al. (2008) und KUSCH (1983) auftraten, wurden nicht bestätigt. Da es keine nachweisliche Lumbarisation des L_w7 zwischen den Lenden- und Kreuzwirbeln gab, kann man von einer geringeren Anzahl an Lendenwirbeln ausgehen. Von der rein äußerlichen Betrachtung deutete dies auf das Fehlen des L_w1 hin. Die Ergebnisse der Messungen der Lendenwirbel ließen jedoch eher darauf schließen, dass ein Wirbel zwischen L_w3 bis L_w6 nicht ausgebildet wurde.

5.7 Fazit und Ausblick

In der anatomischen Literatur werden Hunde und Katzen in die Gruppe der Fleischfresser zusammengefasst und meist einheitlich betrachtet. Jedoch gibt es weitreichende anatomische Unterschiede zwischen Hund und Katze, wie sie bereits im Aufbau der Haut und deren Dicke zu erkennen sind. Diese Studie zeigt aber auch vergleichbare neuroanatomische Gegebenheiten zwischen den beiden Tierarten. Dennoch stellen die Ergebnisse der

Diskussion

vorliegenden Arbeit deutlich heraus, dass eine pauschalisierte Übertragung von z.B. Akupunkturtafeln und Dermatomen vom Hund auf die Katze nicht möglich ist.

Fundierte Kenntnisse über die Nervenverläufe und deren Durchtrittsstellen sind für verschiedene Therapiemethoden wichtig und grundlegend, wie z.B. in der Elektrotherapie (GARRISON und FOREMAN 2002, HERZOG 2009, MAYOR 2008, GESSLER 1991). Jeder Manualtherapeut sollte somit diese neuroanatomischen Kenntnisse für seine jeweilige Zieltierart erlernen.

Die Arbeit zeigt neue Aspekte über die Innervation der thorakolumbalen Region bei der Katze und bildet eine Grundlage um z.B. Dermatomtafeln für die Katze anzufertigen, welche bis heute nicht existieren.

Die häufig praktizierte Übertragung von Akupunkturpunkten in Form von universal zu nutzenden Karten vom Menschen auf den Hund stellt per se eine zu hinterfragende Methode dar. Darüber hinaus ist eine Übertragung zwischen den Tierarten, wie vom Hund auf die Katze, abzulehnen. Die vorliegende Studie zeigt, dass bereits interindividuell und zwischen den Körperseiten eines Tieres Unterschiede in der Symmetrie und im Verlauf der Spinalnerven bestehen. Dies schließt weiterhin eine tierartlich übergreifende Generalisierung aus.

Es sollten weiterführende mikro- und makroskopische anatomische Untersuchungen an Katzen und anderen Tierarten unternommen werden, um für alle Haussäuge- sowie Heimtiere detaillierte Informationen zu erhalten und daraus z.B. speziesspezifische Dermatomkarten anzufertigen.

Durch die Kaudalverschiebungsindizes und den speziellen Verlauf der Nerven ergeben sich neue Einblicke auf die segmentalreflektorischen Prozesse, da der Rückschluss auf das Ursprungssegment im Rückenmark gezogen werden kann. Die Grundlage des kutanen nervalen Anteils eines kutiviszeralen Reflexbogens bei der Europäisch Kurzhaar ist mit der vorliegenden Dissertation gelegt. Nachfolgende Untersuchungen sollten Einblicke auf den viszeralen Anteil und deren Verschaltungen im Rückenmark geben. So ließen sich Symptome besser beurteilen, wodurch der manuelle Therapeut eine gezieltere und effektive Behandlung durchführen kann.

6 Zusammenfassung

Röhrmann, Nicole

Der Verlauf und das Verzweigungsmuster ausgewählter Brust- und Lendennerven bei der Katze der Rasse Europäisch Kurzhaar (EKH)

Veterinär-Anatomisches Institut, Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig

Eingereicht im Mai 2017

91 Seiten, 43 Abbildungen, 15 Tabellen, 128 Literaturangaben, 23 Seiten Anhang

Schlüsselwörter: Europäisch Kurzhaar, Katze, Kaudalverschiebung, Komplementäre Veterinärmedizin, Nervi spinales, Ramus dorsalis

Einleitung

In deutschen Haushalten zählen Katzen, neben Hunden, zu den häufigsten Haustieren. Die Europäisch Kurzhaar gehört dabei zu den beliebtesten Rassen. Auch bei Katzen als Patienten werden ergänzend zu klassischen Therapiemethoden in der Veterinärmedizin zunehmend komplementäre Verfahren angewendet. Da viele Methoden und Therapien der Komplementären Medizin auf segmentale Zusammenhänge zurückzuführen sind, ist unter anderem die genaue Kenntnis der Hautinnervation von Bedeutung für komplementär arbeitende Veterinäre. Jedoch existieren bisher nur wenige Untersuchungen über die detaillierte Verzweigung der Spinalnerven bei Kleintieren, insbesondere bei Katzen.

Ziele der Untersuchungen

Das Ziel dieser Dissertation war eine präzise, detaillierte Präparation und Beschreibung des Innervationsmusters der Spinalnerven bei Katzen mit besonderem Augenmerk auf die Rami dorsales mit ihren Hautästen und ihrer kaudalen Verschiebung in der Regio thoracolumbalis.

Tiere, Material und Methoden

Dafür wurde an 15 Katzen der Rasse Europäisch Kurzhaar eine mesoskopische Präparation durchgeführt. Die Katzen wurden mit 4%-igen Formalin über die A. femoralis in Brust-Bauchlage fixiert und anschließend die Spinalnerven im Bereich des Thorakalnerven (Th) 9 bis zum Lumbalnerven (L) 7 in 4 Schichten präpariert: 1) im Bereich der Nerveintritte in die Haut (*Haut*), 2) auf Höhe der Fascia thoracolumbalis (*Faszie*), 3) auf dem Niveau der langen Rückenmuskulatur (*Muskulatur*) und 4) im Bereich der Foramina (*Forr.*) intervertebralia (*Forr. intervertebralia*). Für jeden einzelnen Ramus dorsalis zwischen Th9 und L7 wurde für jede Katze die symmetrische Verteilung und der Verlauf durch die Ebenen dargestellt. Daraus ergaben sich die Kaudalverschiebungsindizes (KVI) der Rami dorsales für die jeweilige Katze (KVI_i) und für jeden einzelnen Ramus dorsalis bei allen Katzen (KVI_j). Weiterhin wurde eine paramediane Verschiebung zwischen den Rami dorsales einer

Körperseite in einer Ebene und den Ebenen 2 (Faszie) und 3 (Muskulatur) jedes Ramus dorsalis bestimmt. Zur Überprüfung eines linearen Zusammenhangs zwischen der Länge der Lendenwirbelsäule und der KVI der einzelnen Katzen wurden der Korrelationskoeffizient r und das Bestimmtheitsmaß R^2 ermittelt.

Ergebnisse

Die Rami dorsales waren fast vollzählig und nahezu symmetrisch bei allen Katzen ausgebildet. Der Seitenvergleich zeigte vor allem Unterschiede für die kaudalen Rami dorsales ab L4. Die Anzahl der Hautnerven lag zwischen 8 und 11 pro Körperseite. Der Ramus dorsalis L6 konnte bei keiner der untersuchten Katzen nachgewiesen werden. Die Durchtrittshöhen der einzelnen Rami dorsales variierten zwischen den Ebenen und in einer Ebene auf einer Körperseite sowie im Seitenvergleich. Der KVI_j ergab ein Verhältnis von 3:2:1 von der Haut bis zur Muskulatur für beide Körperseiten. Es zeigte sich, dass auch für die einzelnen Rami dorsales dieses Verhältnis für ihren Verlauf durch die Ebenen zutraf. Bei der morphometrischen Analyse der Korrelation zwischen der Länge der Lendenwirbelsäule und den KVI_j ergaben sich für die KVI_j-H (links: $r = -0,0782$, rechts: $r = -0,0188$) beider Körperseiten und die KVI_j-M ($r = -0,1134$) der rechten Seite ein sehr geringer negativer Zusammenhang. Der KVI_j-M ($r = 0,0823$) der linken Seite sowie die KVI_j-F (links: $r = 0,4903$, rechts: $r = 0,3521$) beider Körperseiten wiesen eine geringe positive Korrelation auf. Durch die computertomografischen Aufnahmen konnte ein Vergleich zwischen der Längenmessung der LWS am Präparat und den Schnittbildrekonstruktionen am Computer durchgeführt werden. Die Bestimmung der Standardkorrelation (Pearson Korrelation) ergab einen signifikanten Zusammenhang beider Messmethoden ($r = 0.875691$, $p = 8,74 \times 10^{-5}$).

Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit wurden erstmals Spinalnerven mit ihrem individuellen Verlauf und ihrer symmetrischen Verteilung bei der Katze untersucht. Die resultierenden Erkenntnisse etablieren die anatomische Basis für verschiedene therapeutische Verfahren, für die Kenntnisse über den Verlauf der Nerven eine hohe Relevanz besitzen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen eine symmetrische Ausprägung der Rami dorsales Th9 bis L3 für die untersuchten Katzen. Diese regelmäßige Ausprägung der Spinalnerven bis L3 unterscheidet sich sichtlich von der des Hundes. Für die ab L3 kaudal folgenden Rami dorsales bestand eine größere interindividuelle Variation und Unregelmäßigkeit. Jedoch wurde eine Korrelation zwischen den KVI_j und der Länge der Lendenwirbelsäule nicht bestätigt. Zudem konnte bei keiner Katze ein Ramus dorsalis L6 nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse zeigen bereits merkbare Unterschiede zwischen den einzelnen Katzen ab dem Spinalnerven L4 und Katzen zu anderen Tierarten wie dem Hund. Damit wird deutlich, dass eine Übertragbarkeit der Nervenverläufe und Innervationsgebiete zwischen den Tierarten oder von der Katze auf den Menschen aufgrund der speziesspezifischen neuroanatomischen Unterschiede nicht möglich ist und die tierartlichen Besonderheiten berücksichtigt werden sollten.

7 Summary

Röhrmann, Nicole

Course and branching pattern of selected thoracic and lumbar spinal nerves in European Shorthair cats

Institute of Veterinary Anatomy, Histology and Embryology, Faculty of Veterinary Medicine, Leipzig University

Submitted in May 2017

91 pages, 43 figures, 15 tables, 128 references, 23 pages appendix

Keywords: European Shorthair, cat, caudal shift, complementary veterinary medicine, spinal nerves, dorsal ramus

Introduction

Cats are next to dogs the most common pets in German households. The European Shorthair is one of the most popular breeds. In addition to classical therapeutic methods, complementary treating techniques are becoming increasingly popular. Since many areas of complementary medicine are based on segmental nerve connections, exact knowledge about the cutaneous innervation is of great importance for veterinarians practicing complementary medicine. However, studies about the detailed branching pattern of spinal nerves in small animals, especially cats, are scarce.

Aims of the study

The aim of this study was a detailed dissection and description of the innervation pattern of the dorsal branches of the spinal nerves in cats with special reference to the cutaneous nerves and their caudal shift in the thoracolumbar region.

Animals, material and methods

In 15 European Shorthair cats a precise and detailed mesoscopic dissection was carried out. The cats were formalin fixed in prone position and afterwards the spinal nerves in the range of the thoracic nerve (Th) 9 to the lumbar nerve (L) 7 were dissected in 4 layers: 1) at the level of the entry points in the skin (*skin*), 2) above the thoracolumbar fascia (*fascia*), 3) at the level of the back muscles (*muscles*) and 4) at the level of the intervertebral foramina (*intervertebral foramina*). The symmetric distribution and course were examined for every dorsal ramus between Th9 and L7 in the four levels. This resulted in the Caudal Shift Indices (CSI) of the dorsal rami for the respective cat (CSI_j) and for each dorsal ramus in all cats (CSI_i). Furthermore, a paramedian shift between the dorsal rami of one body side in one level and of one dorsal ramus from level 2 (fascia) to level 3 (musculature) were determined. For

Summary

evaluation of a linear correlation between the length of the lumbar spine and the CSI of every cat the correlation coefficient r and the coefficient of determination R^2 were calculated.

Results

The dorsal rami were almost complete and nearly symmetric in all cats. Comparison of the two sides showed differences for the caudal dorsal rami from L4 on. The number of the cutaneous branches was between 8 and 11 cutaneous nerves per body side. The dorsal ramus l6 has not been detected in the prepared cats. The level of entrance of the dorsal rami varied between the levels, within one level of the same body side and in side comparison. The CSI_j resulted in a ratio of 3:2:1 from the skin to the musculature for both body sides. As a result, that ratio also applied for the course of the individual dorsal rami through the levels. The morphometric analysis of the correlation between the length of the lumbar spine and the CSI_j, the CSI_j-S (left: $r = -0,0782$, right: $r = -0,0188$) of both body sides and the CSI_j-M ($r = -0,1134$) of the right body side showed a very low negative correlation. The CSI_j-M ($r = 0,0823$) of the left side as well as the CSI_j-F (left: $r = 0,4903$, right: $r = 0,3521$) of both body sides had a low positive correlation. Due to the computer-tomographical recordings a comparison could be made between measurement of the length of the lumbar spine at the anatomical preparation and the image reconstruction on the computer. The determination of the standard (Pearson-) correlation revealed a significant correlation of both measuring methods ($r = 0.875691$, $p = 8,74 \times 10^{-5}$).

Conclusion

In the work presented the course and symmetrical distribution of the spinal nerves in cats was examined for the first time. The findings establish the morphological foundation for various therapeutic methods, for which knowledge of the course of the nerves is highly relevant.

As the results of this study show the dorsal rami Th9 to L3 in the examined cats has a bilateral symmetry. This regular appearance of the spinal nerves up to L3 differs visibly from the one in dogs. The dorsal rami caudal to L3 on showed a higher degree of individuality and irregularity. However, a correlation between the CSI_j and the length of the lumbar spine could not be confirmed. Furthermore, a dorsal ramus L6 could not be demonstrated in any of the cats. The results already show noticeable differences between individual cats from the spinal nerve L4 on and between cats and other species, like dogs. This clearly demonstrates that it is not advisable to transfer nerve courses and innervation areas between species or from cats to humans because of their species-specific neuroanatomical differences. This also means that the animal-specific characteristics have to be considered in any case.

8 Literaturverzeichnis

1. Agila. Europäisch Kurzhaar - eine intelligente Rassekatze 2015 (zitiert vom 26.10.2015), <<http://www.agila.de/lexikon/811-europaeisch-kurzhaar-katze>>.
2. Alexander C-S. Massage. Zielsetzung der Massage. In: Alexander C-S, Hrsg. Physikalische Therapie für Kleintiere. 2. Aufl. Stuttgart: Parey; 2004a. p. 135–60.
3. Alexander C-S. Physiotherapie. Elektrotherapie. In: Alexander C-S, Hrsg. Physikalische Therapie für Kleintiere. 2. Aufl. Stuttgart: Parey; 2004b. p. 231–52.
4. Antwerpes F, Bröse SA, Mayer M, Graf von Westphalen G, Prinz D. Head-Zone 2015 (zitiert vom 23.12.2015), <http://flexikon.doccheck.com/de/Head-Zone?utm_source=www.doccheck.flexikon&utm_medium=web&utm_campaign=DC%2BSearch>.
5. Arnold JP, Kitchell RL. Experimental studies of the innervation of the abdominal wall of cattle. Am J Vet Res. 1957;18:229–40.
6. Assheuer J, Sager M. MRI and CT atlas of the dog. 1. Aufl. Berlin: Blackwell Science; 1997.
7. Bailey CS, Kitchell RL. Clinical evaluation of the cutaneous innervation of the canine thoracic limb. J Am Anim Hosp Assoc. 1984;20:939–50.
8. Bailey CS, Kitchell RL. Cutaneous sensory testing in the dog. J Vet Intern Med. 1987;1:128–35.
9. Bailey CS, Kitchell RL, Haghighi SS, Johnson RD. Cutaneous innervation of the thorax and abdomen of the dog. Am J Vet Res. 1984;45:1689–98.
10. Barop H. Lehrbuch und Atlas Neuraltherapie nach Huneke. 1. Aufl. Stuttgart: Hippokrates-Verl.; 1996.
11. Beissner F, Henke C, Unschuld PU. Forgotten features of Head zones and their relation to diagnostically relevant acupuncture points. Evid Based Complement Alternat Med. 2011;2011:1–7.
12. Bernigau D. Neue Aspekte der segmentalen Neuroanatomie des Lendenbereiches beim Hund [Dissertation med. vet.]. Leipzig: Univ. Leipzig; 2013.
13. Birch S. Trigger point--acupuncture point correlations revisited. J Altern Complement Med. 2003;9:91–103.
14. Boelens OBA, Scheltinga MR, Houterman S, Roumen RM. Randomized clinical trial of trigger point infiltration with lidocaine to diagnose anterior cutaneous nerve entrapment syndrome. Br J Surg. 2013;100:217–21.

15. Bogduk N. The lumbosacral dorsal rami of the cat. *J Anat.* 1976;122:653–62.
16. Bravo-Monsalvo A, Vazquez-Chagoyan JC, Gutierrez L, Sumano H. Clinical efficacy of neural therapy for the treatment of atopic dermatitis in dogs. *Acta Vet Hung.* 2008;56:459–69.
17. Challende-Kathmann I. Massage. Klassische Massage. In: Challende-Kathmann I, Forterre F, Hrsg. *Rehabilitation und Physiotherapie bei Hund und Katze.* 1. Aufl. Hannover: Schlüter; 2009a. p. 4–14.
18. Challende-Kathmann I. Schmerzpatient. Bekämpfungsgrundsätze. In: Challende-Kathmann I, Forterre F, Hrsg. *Rehabilitation und Physiotherapie bei Hund und Katze.* 1. Aufl. Hannover: Schlüter; 2009b. p. 164–7.
19. Cui K, Yuan X. TRP channels and axon pathfinding. In: Liedtke WB, Heller S, Hrsg. *TRP ion channel function in sensory transduction and cellular signaling cascades.* Boca Raton, Fla.: CRC Press; 2007. p. 55–68.
20. Damur-Djuric N, Steffen F, Hassig M, Morgan JP, Flückiger MA. Lumbosacral transitional vertebrae in dogs. Classification, prevalence, and association with sacroiliac morphology. *Vet Radiol Ultrasound.* 2006;47:32–8.
21. de Boer S. Neuere Untersuchungen über die segmentelle Innervation. *Ergeb Physiol.* 1929;29:392–484.
22. Demmrich-Wander C. Zwei Fallbeispiele aus der Veterinärmedizin zum Thema Störfeld. *Dt Ztschr f Akup.* 2004;47:42–3.
23. Dorsher PT, Fleckenstein J. Trigger Points and Classical Acupuncture Points. Part 2: Clinical Correspondences in Treating Pain and Somatovisceral Disorders. *Dt Ztschr f Akup.* 2008;51:6–11.
24. Draehmpaehl D, Ottensmeier A, Kleinpeter A, Klupel M. Gefäße, Nerven, Muskel- und Sehnenspindeln als Angriffspunkte der Akupunktur bei Katzen und Hunden und ihre therapeutischen Möglichkeiten. *Monatsh Veterinarmed.* 1993;48:537–51.
25. Draehmpaehl D, Zohmann A. Akupunktur bei Hund und Katze. Wissenschaftliche Grundlagen und Punkteatlas. 3. Aufl. Stuttgart: Sonntag; 2009.
26. Dupuis I. Die beliebtesten Katzenrassen der Deutschen 2013 (zitiert vom 31.03.2017), <<http://www.einfachtierisch.de/katzen/bilder/die-beliebtesten-katzenrassen-der-deutschen-idb35950/>>.
27. Dyce KM, Sack WO, Wensing CJ. Anatomie der Haustiere. Lehrbuch für Studium und Praxis. 1. Aufl. Stuttgart: Enke; 1991.

28. Egerbacher M. Anatomische und histologische Untersuchungen zur Morphologie ausgewählter Akupunkturpunkte am Rumpf bei Rind und Hund [Dissertation med. vet.]. Wien: Univ. Wien; 1991.
29. Egerbacher M. Anatomische und histologische Struktur ausgewählter Akupunkturpunkte bei Rind und Hund. Dt Ztschr f Akup. 1993;36:75–80.
30. Egner W. Das Physiotherapie-Gerät PT20 2003 (zitiert vom 29.10.2016), <<http://www.submedvet.de/Php/frmbuilder.php?dateiname=%2FDocs%2FPhysiotherapie%2FPT20.htm>>.
31. Elze C. Headsche Zonen und Dermatome. Nervenarzt. 1957;28:465–9.
32. Elze C. Die anatomischen Grundlagen der Headschen Zonen. Z Anat Entwicklungsgesch. 1961;122:402–13.
33. Eul-Matern C. Akupunktur bei Krankheiten von Hund und Katze. Westliche Indikation - chinesische Diagnostik und Therapie. 1. Aufl. Stuttgart: Sonntag-Verl.; 2015.
34. Fox SM, Millis D. Multimodale Schmerztherapie bei caniner Osteoarthritis. 1. Aufl. Hannover: Schlüter; 2014.
35. Fritz S. Mosby's Fundamentals of Therapeutic Massage. 6. Aufl. St Louis: Elsevier Health Sciences; 2016.
36. Garrison DW, Foreman RD. Decreased activity of spontaneous and noxiously evoked dorsal horn cells during transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). Pain. 1994;58:309–15.
37. Garrison DW, Foreman RD. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on spontaneous and noxiously evoked dorsal horn cell activity in cats with transected spinal cords. Neurosci Lett. 1996;216:125–8.
38. Garrison DW, Foreman RD. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) electrode placement on spontaneous and noxiously evoked dorsal horn cell activity in the cat. Neuromodulation. 2002;5:231–7.
39. Gessler M. Nervenschmerzen (Neuralgien, Deafferentierungsschmerzen). Übertragene Schmerzen. In: Pothmann R, Gessler M, Hrsg. Transkutane elektrische Nervenstimulation: TENS; 23 Tabellen. 1. Aufl. Stuttgart: Hippokrates-Verl; 1991. p. 37–44.
40. Geyer H. Äußere Haut, Integumentum commune. Allgemeiner Aufbau der Haut. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U, Hrsg. Anatomie für die Tiermedizin. 3. Aufl. Stuttgart: Enke; 2015. p. 634–77.

41. Habermehl K-H. Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane. Haut und Hautorgane. In: Böhme G, Hrsg. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane. 4. Aufl. Stuttgart: Parey Verlag; 2004. p. 443–576.
42. Hansen K, Schliack H. Über Segmentinnervation, Headsche Zonen und Metamerie. Nervenarzt. 1957;28:469–74.
43. Hansen K, Schliack H. Segmentale Innervation. Ihre Bedeutung für Klinik und Praxis. 2. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1962.
44. Heine H. Akupunkturtherapie - Perforationen der oberflächlichen Körperfazie durch kutane Gefäß-Nervenbündel. Therapeutikon. 1988;4:238–44.
45. Heine H. Bedeutung der Grundregulation für das Stressgeschehen unter besonderer Berücksichtigung von Neuraltherapie und Akupunktur. Schweiz Z Ganzheitsmed. 2006;18:328–32.
46. Hekmatpanah J. Organization of tactile dermatomes, C1 through L4, in cat. J Neurophysiol. 1961;24:129–40.
47. Hertwig B. Manuelle Medizin 2011a (zitiert vom 23.07.2016), <<http://www.gesundmed.de/alternativmedizin/manuelle-medicin/>>.
48. Hertwig B. Massage 2011b (zitiert vom 23.07.2016), <<http://www.gesundmed.de/alternativmedizin/massage/>>.
49. Herzog K. Elektrotherapie. In: Challende-Kathmann I, Forterre F, Hrsg. Rehabilitation und Physiotherapie bei Hund und Katze. 1. Aufl. Hannover: Schlüter; 2009. p. 77–82.
50. Hwang Y-C. Anatomie und Klassifikation von Akupunkturpunkten. In: Schoen AM, Hrsg. Akupunktur in der Tiermedizin: Lehrbuch und Atlas für die Klein- und Großtierbehandlung. 1. Aufl. München: Urban & Fischer; 2003. p. 19–24.
51. Hwang Y-C. Anatomie und Klassifikation von Akupunkturpunkten. In: Schoen AM, Hrsg. Akupunktur in der Tiermedizin: Lehrbuch und Atlas für die Klein- und Großtierbehandlung. 2. Aufl. München: Urban & Fischer in Elsevier; 2009. p. 17–22.
52. IVAS. About IVAS 2016 (zitiert vom 01.08.2016), <<https://www.ivas.org/about-ivas/>>.
53. Jaggar DH, Robinson NG. Die Geschichte der Akupunktur in der Tiermedizin. Die Entwicklung der Veterinärakupunktur in anderen Teilen Asiens. In: Schoen AM, Hrsg. Akupunktur in der Tiermedizin: Lehrbuch und Atlas für die Klein- und Großtierbehandlung. 2. Aufl. München: Urban & Fischer in Elsevier; 2009. p. 3–15.
54. Jakob B. Korrelation 2002 (zitiert vom 14.04.2016), <<http://www.uni-stuttgart.de/soz/avps/mitarbeiter/Jakob/WWW/SPSS/Korrelation.html>>.
55. Janssens LAA. Trigger points in 48 dogs with myofascial pain syndromes. Vet Surg. 1991;20:274–8.

56. Janssens LAA. Triggerpunkt-Therapie. In: Schoen AM, Hrsg. Akupunktur in der Tiermedizin: Lehrbuch und Atlas für die Klein- und Großtierbehandlung. 2. Aufl. München: Urban & Fischer in Elsevier; 2009. p. 189–94.
57. Kasper M. Methoden der Schmerztherapie. Neuraltherapie. In: Kasper M, Zohmann A, Knafl P, Hrsg. Ganzheitliche Schmerztherapie für Hund und Katze: 87 Tabellen. 2. Aufl. Stuttgart: Sonntag; 2011a. p. 125–228.
58. Kasper M. Schmerzsymptome - Schmerzsymptomatik. Segmentalreflektorik. In: Kasper M, Zohmann A, Knafl P, Hrsg. Ganzheitliche Schmerztherapie für Hund und Katze: 87 Tabellen. 2. Aufl. Stuttgart: Sonntag; 2011b. p. 15–50.
59. Kasper M. Untersuchungsgang. Manuelle Untersuchungen - Palpationen (Arten und Techniken). In: Kasper M, Zohmann A, Knafl P, Hrsg. Ganzheitliche Schmerztherapie für Hund und Katze: 87 Tabellen. 2. Aufl. Stuttgart: Sonntag; 2011c. p. 51–123.
60. Kasteliz K. TENS Behandlung für die Katze 2005 (zitiert vom 29.10.2016), <http://www.vet-magazin.de/wissenschaft/komvet-komplementaere-veterinaermedizin/physiotherapie-veterinaermedizin/TENS.html>.
61. Kennard MA, Haugen FP. The relation of subcutaneous focal sensitivity to referred pain of cardiac origin. *Anesthesiology*. 1955;16:297–311.
62. Kennedy WR, Khalili N, Wendelschafer-Crabb G, Nolano M, Simone D. Epidermal nerve fibers: observations on structure and function. *J Neurol Sci*. 2001;22:3–6.
63. Kienitz MS. Der "Leitbahn"-Begriff in der Akupunktur [Dissertation med. vet.]. Leipzig: Univ. Leipzig; 2011.
64. Kitchell RL, Canton DD, Johnson RD, Maxwell SA. Electrophysiologic studies of cutaneous nerves of the forelimb of the cat. *J Comp Neurol*. 1982;210:400–10.
65. Kitchell RL, Whalen LR, Bailey CS, Lohse CL. Electrophysiologic studies of cutaneous nerves of the thoracic limb of the dog. *Am J Vet Res*. 1980;41:61–76.
66. Kitzinger E. Der Akupunktur-Punkt. Topographie u. chines. Stichtechnik : mit Indikationen nach chines. u. europ. Quellen. 1. Aufl. Wien, München u.a.: Maudrich; 1989.
67. Klessens I. Form and function of the trunkermatome tested by the strychnine-segmentzones. *KNAW Proceedings*. 1912;15 I:740–53.
68. Knospe C. Zur angewandten Anatomie der Akupunktur. *Tierarztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere*. 2007;35:249–52.
69. Koch T, Berg R. Lehrbuch der Veterinär-Anatomie. Die großen Versorgungs- und Steuerungssysteme. 5. Aufl. Jena: Fischer; 1993.

70. König HE. Anatomie der Katze. Mit Hinweisen für die tierärztliche Praxis. 1. Aufl. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag; 1992.
71. König HE, Liebich H-G, Cervený C. Nervensystem (Systema nervosum). Periphere Nerven und Ganglien, PNS (Systema nervosum periphericum). In: König HE, Liebich H-G, Aurich C, Hrsg. Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. 6. Aufl. Stuttgart: Schattauer; 2015. p. 485–556.
72. Kraft H. Anatomische Bemerkungen zur Körper- und Ohrakupunktur beim Tier. Der Akupunkturarzt, Aurikulothérapeut. 1980;5:147–50.
73. Kuhn RA. Organization of tactile dermatomes in cat and monkey. J Neurophysiol. 1953;16:169–82.
74. Kuntz A, Hamilton JW. Afferent innervation of the skin. Anat Rec. 1938;71:387–400.
75. Kusch HG. Das Achsenskelett des Dackels (Dachshundes, Teckels) [Dissertation med. vet.]. München: Ludwig-Maximilians-Univ. München; 1983.
76. Lang W. Akupunktur und Nervensystem. E. Studie zur Wirkungsweise d. Akupunktur. 2. Aufl. Heidelberg: Haug; 1976.
77. Liebich H-G, Maierl J, König HE. Faszien und Muskeln des Kopfes und des Stammes. Muskeln des Stammes (Musculi trunci). In: König HE, Liebich H-G, Aurich C, Hrsg. Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. 6. Aufl. Stuttgart: Schattauer; 2015. p. 109–40.
78. Lovell JE, Getty R. The hair follicle, epidermis, dermis, and skin glands of the dog. Am J Vet Res. 1957;18:873–85.
79. Maigne JY, Lazareth JP, Surville HG, Maigne R. The lateral cutaneous branches of the dorsal rami of the thoraco-lumbar junction. Surg Radiol Anat. 1989;11:289–93.
80. Mayor DF. The Chinese back shu and front mu points and their segmental innervation. Dt Ztschr f Akup. 2008;51:26–36.
81. Melzack R. Phantom limb pain: implications for treatment of pathologic pain. Anesthesiology. 1971;35:409–19.
82. Melzack R, Stillwell DM, Fox EJ. Trigger points and acupuncture points for pain: correlations and implications. Pain. 1977;3:3–23.
83. Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory. Science (New York, N.Y.). 1965;150:971–9.
84. Mense S. Unterschiede zwischen myofaszialen Triggerpunkten und "tender points". Schmerz (Berlin, Germany). 2011;25:93–103.
85. Michel G. Vergleichende Embryologie der Haustiere. Ein Lehrbuch auf funktioneller Grundlage. 1. Aufl. Jena: Fischer; 1995.

86. Morgan JP. Transitional lumbosacral vertebral anomaly in the dog: a radiographic study. *J Small Anim Pract.* 1999;40:167–72.
87. Newitt A, German AJ, Barr FJ. Congenital abnormalities of the feline vertebral column. *Vet Radiol Ultrasound.* 2008;49:35–41.
88. Newitt AL, German AJ, Barr FJ. Lumbosacral transitional vertebrae in cats and their effects on morphology of adjacent joints. *J Feline Med Surg.* 2009;11:941–7.
89. Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Nervensystem. Peripheres Nervensystem. In: Böhme G, Hrsg. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Nervensystem, Sinnesorgane, Endokrine Drüsen.* 4. Aufl. Stuttgart: Parey Verlag; 2003a. p. 228–385.
90. Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Nervensystem. Zentralnervensystem, Systema nervosum centrale. In: Böhme G, Hrsg. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Nervensystem, Sinnesorgane, Endokrine Drüsen.* 4. Aufl. Stuttgart: Parey Verlag; 2003b. p. 28–227.
91. Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Sinnesorgane. Organe der somatovisceralen Sensibilität. In: Böhme G, Hrsg. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Nervensystem, Sinnesorgane, Endokrine Drüsen.* 4. Aufl. Stuttgart: Parey Verlag; 2003c. p. 368–472.
92. Nickel R, Schummer A, Wille K-H, Wilkens H. Bewegungsapparat. Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem. In: Böhme G, Hrsg. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Bewegungsapparat.* 4. Aufl. Stuttgart: Parey Verlag; 2003d. p. 13–272.
93. Pomeranz B, Chiu D. Naloxone blockade of acupuncture analgesia: endorphin implicated. *Life Sci.* 1976;19:1757–62.
94. Pöntinen PJ. Neurophysiologie. Wechselfrequenz-TENS. In: Pothmann R, Gessler M, Hrsg. *Transkutane elektrische Nervenstimulation: TENS; 23 Tabellen.* 1. Aufl. Stuttgart: Hippokrates-Verl; 1991. p. 12–21.
95. Pothmann R. Einleitung. In: Pothmann R, Gessler M, Hrsg. *Transkutane elektrische Nervenstimulation: TENS; 23 Tabellen.* 1. Aufl. Stuttgart: Hippokrates-Verl; 1991. p. 14.
96. Pschyrembel W. *Pschyrembel Klinisches Wörterbuch. Mit klinisches Syndromen und Nomina Anatomica.* 266. Aufl. Berlin: Walter de Gruyter & Co; 2014.
97. Reid KH. Dermatomes and skin innervation density in the cat's tail. *Exp Neurol.* 1970;26:1–16.
98. Ritter T. Europäisch Kurzhaar (EKH) 2017 (zitiert vom 31.03.2017), <<http://rassekatze.eu/kurzhaarrassen/europaeisch-kurzhaar/>>.

99. Salomon F-V. Bewegungsapparat. Knochenverbindungen. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U, Hrsg. Anatomie für die Tiermedizin. 3. Aufl. Stuttgart: Enke; 2015a. p. 110–47.
100. Salomon F-V. Bewegungsapparat. Knöchernes Skelett. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U, Hrsg. Anatomie für die Tiermedizin. 3. Aufl. Stuttgart: Enke; 2015b. p. 22–234.
101. Salomon F-V. Bewegungsapparat. Muskelgewebe. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U, Hrsg. Anatomie für die Tiermedizin. 3. Aufl. Stuttgart: Enke; 2015c. p. 22–234.
102. Salomon F-V. Nervensystem, Systema nervosum. Anatomie des Rückenmarks und der Rückenmarksnerven. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U, Hrsg. Anatomie für die Tiermedizin. 3. Aufl. Stuttgart: Enke; 2015d. p. 465–577.
103. Salomon F-V. Nervensystem, Systema nervosum. Spinalnerven. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U, Hrsg. Anatomie für die Tiermedizin. 3. Aufl. Stuttgart: Enke; 2015e. p. 465–577.
104. Sanchez-Araujo M, Luckert-Barela AJ. On dermatomes, meridians and points: results of a quasiexperimental study. *Acupunct Med.* 2014;32:62–9.
105. Schaller O. Die periphere sensible Innervation der Haut am Rumpfe des Rindes. *Wien Tierarztl Monatsschr.* 1956;43:534–61.
106. Schliack H. Klinische und theoretische Bedeutung der Headschen Zonen. *Acta Neuroveg (Wien).* 1966;28:437–49.
107. Schliack H. Theoretische Grundlagen zum Wirkmechanismus der Bindegewebsmassage. In: Dicke E, Schliack H, Wolff A, Hrsg. Bindegewebsmassage. 11. Aufl. Stuttgart: Hippokrates Verl.; 1982. p. 14–34.
108. Schürmann H-T. Die Topographie des Rückenmarkes bei der Katze [Dissertation med. vet.]. Hannover: Tierärztliche Hochschule Hannover; 1951.
109. Schwarz G. Wirbelsäulenerkrankungen. Nichtkompressive und fakulativ kompressive Wirbelsäulenläsionen. In: Niemand HG, Suter PF, Kohn B, Schwarz G, Hrsg. *Praktikum der Hundeklinik.* 11. Aufl. Stuttgart: Enke; 2012. p. 981–97.
110. Seiferle E, Frewein J. Bewegungsapparat. Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia. In: Böhme G, Hrsg. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Bewegungsapparat.* 4. Aufl. Stuttgart: Parey Verlag; 2003. p. 273–585.
111. Simons DG. Triggerpunkte und Myogelose. *Manuelle Medizin.* 1997;35:290–4.
112. Sobotta J, Welsch U. *Lehrbuch Histologie. Zytologie, Histologie, mikroskopische Anatomie; mit 21 Tabellen.* 2. Aufl. München: Elsevier Urban & Fischer; 2006.

113. Statista. Haustierbesitzer in Deutschland nach Anzahl von Katzen im Haushalt von 2010 bis 2015 (Personen in Millionen) 2016 (zitiert vom 05.11.2016), <<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/181168/umfrage/haustier-anzahl-katzen-im-haushalt/>>.
114. Stoffel MH. Funktionelle Neuroanatomie für die Tiermedizin. 1. Aufl. Stuttgart: Enke; 2011.
115. Strickland JH, Calhoun, M. Lois. The integumentary system of the cat. Am J Vet Res. 1963;24:1018–29.
116. Ten Cate J, Waterman L. Über das Verhalten des isolierten Dermatoms beim Wachsen der Hunde. Arch Neerl Physiol Homme Anim. 1932:537–48.
117. Thiel G. Die Topographie der Rückenmarkssegmente des Hundes [Dissertation med. vet.]. Hannover: Tierärztliche Hochschule Hannover; 1941.
118. Thomas CE, Combs CM. Spinal cord segments. A. Gross structure in the adult cat. Am J Anat. 1962;110:37–47.
119. Travell JG, Simons DG. Travell & Simons' trigger point flip charts. 1. Aufl. Baltimore: Williams & Wilkins; 1996.
120. Travell JG, Simons DG. Handbuch der Muskel-Triggerpunkte. Obere Extremität, Kopf und Thorax. 2. Aufl. München: Urban & Fischer; 2002.
121. van Cranenburgh B. Segmental organisation of the nervous system and possible routes of cutaneo-visceral interactions. In: Hovis KE, Hrsg. 16th IVAS Congress on Veterinary Acupuncture: Acupuncture and neurobiology: Stichting Nederlandse Veterinaire Acupunctuur; 1990. p. 115–21.
122. van Harreveld A, Smith HM. On a "sympathetic" component in the afferent innervation of trunk dermatomes. J Neurophysiol. 1952;15:313–8.
123. van Rijnberk G, Ten Cate J. Über die Functionen eines von einem heterometameren Nervenverbindungen isolierten Körpersegments bei Hunden. Arch Neerl Physiol Homme Anim. 1936:575–93.
124. Vejlstad M. Gastrulation, Body Folding and Coelom Formation. In: Hyttel P, Sinowatz F, Vejlstad M, Betteridge K, Hrsg. Essentials of domestic animal embryology. 1. Aufl. Edinburgh: Saunders; 2010. p. 79–94.
125. Wancura-Kampik I, Fanghänel J. Segment-Anatomie. Der Schlüssel zu Akupunktur, Neuraltherapie und Manualtherapie. 1. Aufl. München: Elsevier Urban & Fischer; 2009.
126. Winkler C, van Rijnberk G. Structure and function of the trunk-dermatoma. IV. KNAW Proceedings. 1904;6:347–56.

Literaturverzeichnis

127. Zohmann A. Physiologische und pathophysiologische Grundlagen von Ohr-, Körperakupunktur und Neuraltherapie. Collegium veterinarium. 1989;20:83–4.
128. Zohmann A, Kasper M. Neuraltherapie in der Veterinärmedizin. Grundlagen - Diagnose - Therapie. 1. Aufl. Hannover: Schlüter; 1994.

9 Anhang

9.1 Fotodokumentation des Nervenverlaufs

9.1.1 Seitenvergleich und Symmetrie der Spinalnerven

In den nachfolgenden Bildern werden die einzelnen Schichten der Katzen 1 bis 15, exklusive der Katze 3, dargestellt (Abb. 9.1 bis Abb. 9.42). Die Anordnung für alle Abbildungen lautet wie folgt, linker Bildrand entspricht der kranialen und der rechte Bildrand der kaudalen Köperrichtung. Die Dornforstsätze der Lendenwirbel sind farblich gekennzeichnet. Schwarz für L1, Blau für L2 bis L7, Grün für die Rami dorsales und Orange für die Rami ventrales.

In den Abb. 9.16 bis Abb. 9.18 (Katze 7) entspricht die Kennzeichnung in Ebene 1, 2 und 3 nicht den üblichen Knochenpunkten. Hier sind die Dornforstsätze L2 bis L6 und K1 blau markiert.

Katze 1

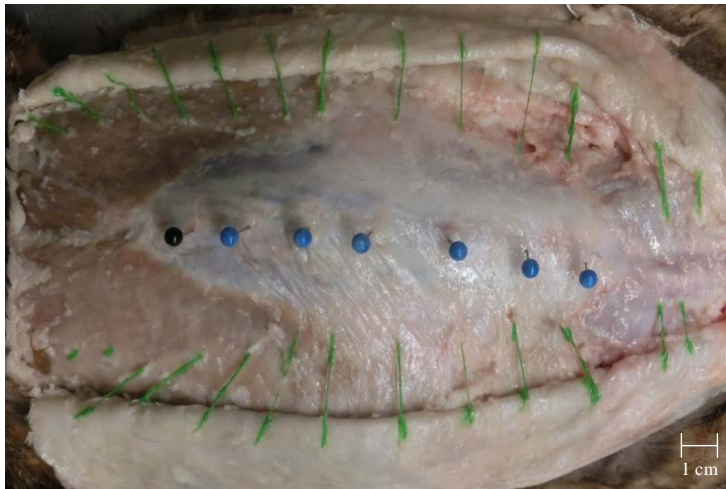


Abb. 9.1 Dorsalansicht Katze 1 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.2 Dorsalansicht Katze 1 in Ebene 3.



Abb. 9.3 Dorsalansicht Katze 1 in Ebene 4.

Katze 2



Abb. 9.4 Dorsalansicht Katze 2 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.5 Dorsalansicht Katze 2 in Ebene 3.



Abb. 9.6 Dorsalansicht Katze 2 in Ebene 4.

Katze 4



Abb. 9.7 Dorsalansicht Katze 4 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.8 Dorsalansicht Katze 4 in Ebene 3.



Abb. 9.9 Dorsalansicht Katze 4 in Ebene 4.

Katze 5

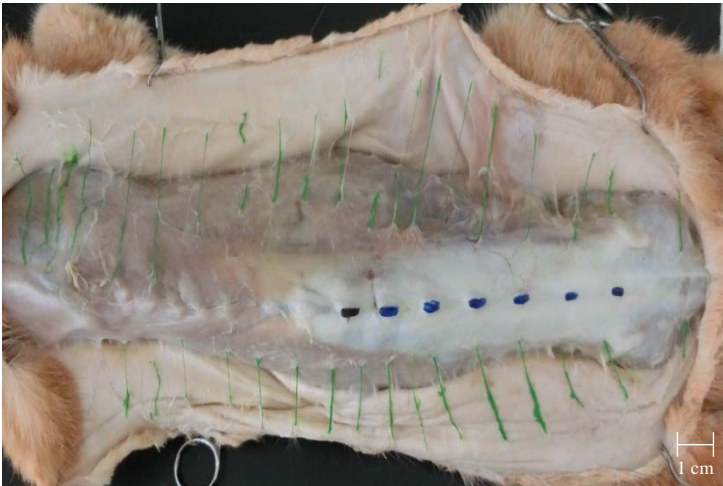


Abb. 9.10 Dorsalansicht Katze 5 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.11 Dorsalansicht Katze 5 in Ebene 3.



Abb. 9.12 Dorsalansicht Katze 5 in Ebene 4.

Katze 6

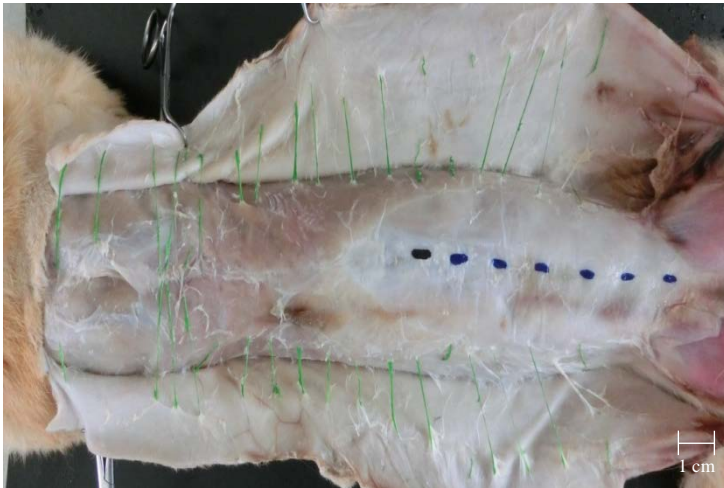


Abb. 9.13 Dorsalansicht Katze 6 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.14 Dorsalansicht Katze 6 in Ebene 3.



Abb. 9.15 Dorsalansicht Katze 6 in Ebene 4.

Katze 7



Abb. 9.16 Dorsalansicht Katze 7 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.17 Dorsalansicht Katze 7 in Ebene 3.



Abb. 9.18 Dorsalansicht Katze 7 in Ebene 4.

Katze 8



Abb. 9.19 Dorsalansicht Katze 8 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.20 Dorsalansicht Katze 8 in Ebene 3.



Abb. 9.21 Dorsalansicht Katze 8 in Ebene 4.

Katze 9



Abb. 9.22 Dorsalansicht Katze 9 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.23 Dorsalansicht Katze 9 in Ebene 3.



Abb. 9.24 Dorsalansicht Katze 9 in Ebene 4.

Katze 10



Abb. 9.25 Dorsalansicht Katze 10 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.26 Dorsalansicht Katze 10 in Ebene 3.



Abb. 9.27 Dorsalansicht Katze 10 in Ebene 4.

Katze 11



Abb. 9.28 Dorsalansicht Katze 11 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.29 Dorsalansicht Katze 11 in Ebene 3.



Abb. 9.30 Dorsalansicht Katze 11 in Ebene 4.

Katze 12



Abb. 9.31 Dorsalansicht Katze 12 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.32 Dorsalansicht Katze 12 in Ebene 3.



Abb. 9.33 Dorsalansicht Katze 12 in Ebene 4.

Katze 13



Abb. 9.34 Dorsalansicht Katze 13 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.35 Dorsalansicht Katze 13 in Ebene 3.



Abb. 9.36 Dorsalansicht Katze 13 in Ebene 4.

Katze 14



Abb. 9.37 Dorsalansicht Katze 14 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.38 Dorsalansicht Katze 14 in Ebene 3.



Abb. 9.39 Dorsalansicht Katze 14 in Ebene 4.

Katze 15

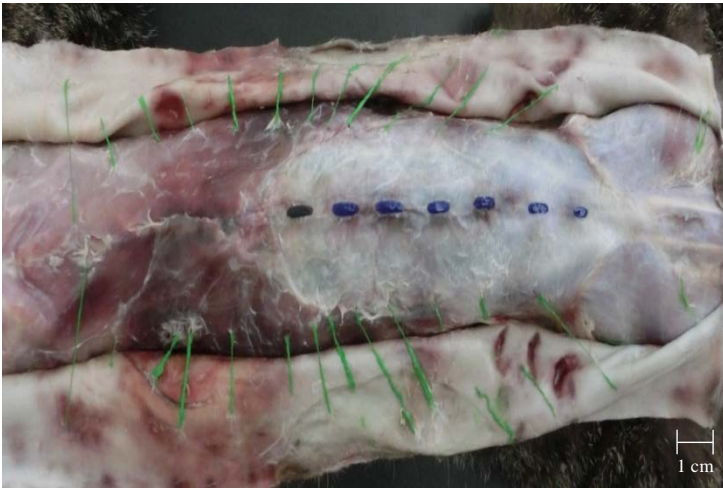


Abb. 9.40 Dorsalansicht Katze 15 in Ebene 1 und Ebene 2.



Abb. 9.41 Dorsalansicht Katze 15 in Ebene 3.



Abb. 9.42 Dorsalansicht Katze 15 in Ebene 4.

9.1.2 Aufzweigung und Verlauf der Spinalnerven

Die Abb. 9.43 zeigt die Aufzweigungen und den Verlauf der Rami dorsales nach Austritt aus dem Zwischenwirbelloch beispielhaft an Katze 1.

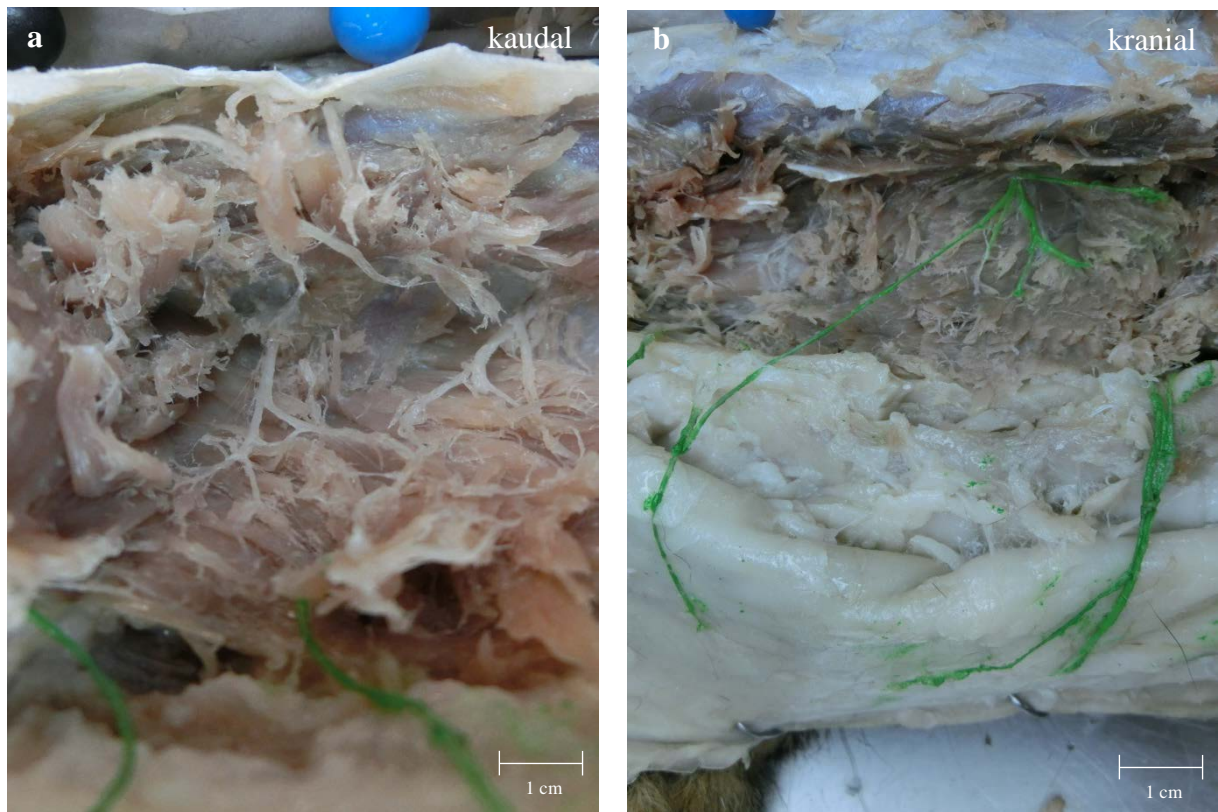


Abb. 9.43 Aufzweigung Rami dorsales der Katze 1.

a L1 und L2 linke Körperseite

b L3 der rechten Körperseite

In den Abb. 9.44 bis Abb. 9.46 werden die Verhältnisse der Perforationsstellen der Fascia thoracolumbalis, des M. latissimus dorsi und des M. trapezius abgebildet.

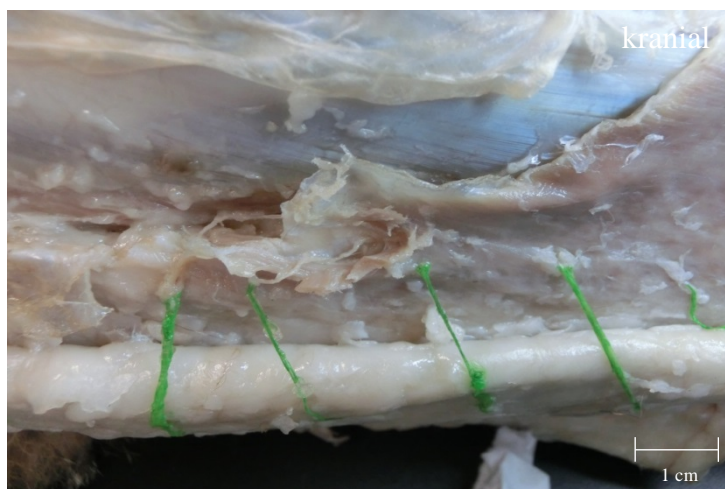


Abb. 9.44 Rechte Lateralansicht Katze 1.

Verlauf der Spinalnerven unter der Fascia thoracolumbalis und dem Musculus latissimus dorsi



Abb. 9.45 Rechte Lateralansicht Katze 6.
Verlauf der Spinalnerven unter den Mm. trapezius und latissimus dorsi



Abb. 9.46 Rechte Lateralansicht Katze 5.
Verlauf der Spinalnerven unter dem M. latissimus dorsi

9.2 Paramediane Verschiebung der Spinalnerven

Tab. 9.1 paramediane Durchtrittsentfernungen (mm) der Spinalnerven L1 bis L7 in Ebene 2 (Faszie) und Ebene 3 (Muskulatur).

	Katze	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Nerv L1	Musk li	38	25	34	35	25	36	29	22	33	32	27	47	30	23	38
	Faszie li	32	23	36	37	24	32	26	22	20	30	33	51	36	25	30
	Unt li	6	2	-2	-2	1	4	3	0	13	2	-6	-4	-6	-2	8
	Musk re	35	—	32	39	30	38	36	27	38	30	28	45	36	23	33
	Faszie re	37	—	35	35	24	33	31	25	36	33	36	49	36	24	30
	Unt re	-2	—	-3	4	6	5	5	2	2	-3	-8	-4	0	-1	3
Nerv L2	Musk li	38	26	34	37	22	34	32	21	34	28	26	—	39	22	36
	Faszie li	30	20	33	33	25	28	26	21	31	28	32	—	33	22	30
	Unt li	8	6	1	4	-3	6	6	0	3	0	-6	—	6	0	6
	Musk re	35	—	30	38	24	32	30	27	32	33	27	46	30	26	39
	Faszie re	37	—	32	32	24	25	27	22	32	28	31	46	30	25	29
	Unt re	-2	—	-2	6	0	7	3	5	0	5	-4	0	0	1	10
Nerv L3	Musk li	38	27	35	34	20	36	31	20	33	27	27	45	34	24	39
	Faszie li	30	20	30	29	21	25	26	20	38	27	27	47	33	25	26
	Unt li	8	7	5	5	-1	11	5	0	-5	0	0	-2	1	-1	13
	Musk re	37	—	29	35	23	34	30	29	—	30	26	43	32	25	40
	Faszie re	34	—	29	29	23	24	25	23	—	28	30	41	35	24	26
	Unt re	3	—	0	6	0	10	5	6	—	2	-4	2	-3	1	14
Nerv L4	Musk li	40	27	40	35	25	—	40	19	34	24	27	45	34	24	38
	Faszie li	25	25	26	29	19	—	40	19	38	27	29	41	26	23	26
	Unt li	15	2	14	6	6	—	0	0	-4	-3	-2	4	8	1	12
	Musk re	37	30	33	32	25	—	—	25	36	28	27	44	44	39	—
	Faszie re	34	22	31	28	21	—	—	21	27	27	26	39	31	23	—
	Unt re	3	8	2	4	4	—	—	4	9	1	1	5	13	16	—
Nerv L5	Musk li	30	30	—	34	23	—	—	—	—	20	24	44	—	—	—
	Faszie li	25	12	—	26	19	—	—	—	—	24	24	38	—	—	—
	Unt li	5	18	—	8	4	—	—	—	—	-4	0	6	—	—	—
	Musk re	35	27	—	25	—	—	—	—	—	27	24	—	—	—	—
	Faszie re	30	40	—	27	—	—	—	—	—	25	21	—	—	—	—
	Unt re	5	-13	—	-2	—	—	—	—	—	2	3	—	—	—	—
Nerv L7	Musk li	18	—	—	45	—	—	—	—	41	22	—	—	—	—	—
	Faszie li	15	—	—	26	—	—	—	—	41	21	—	—	—	—	—
	Unt li	3	—	—	19	—	—	—	—	0	1	—	—	—	—	—
	Musk re	10	42	—	—	45	—	—	—	47	15	—	—	—	39	—
	Faszie re	15	21	—	—	47	—	—	—	47	15	—	—	—	23	—
	Unt re	-5	21	—	—	-2	—	—	—	0	0	—	—	—	16	—

Musk: Muskulatur; re: rechts; li: links; Unt: Unterschied

9.3 Ergebnisse Kaudalverschiebungsindizes L7 bis Th9

9.3.1 Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Katzen (KVI_i)

Tab. 9.2 KVI der einzelnen Nerven L7 bis Th9 für die einzelnen Katzen in der Ebene 1 (Haut) zur Berechnung der KVI_i-H.

	<i>KVI-H</i>	<i>L7</i>	<i>L6</i>	<i>L5</i>	<i>L4</i>	<i>L3</i>	<i>L2</i>	<i>L1</i>	<i>Th13</i>	<i>Th12</i>	<i>Th11</i>	<i>Th10</i>	<i>Th9</i>
<i>Katze 1</i>	links	2	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	rechts	2	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Katze 2</i>	links	—	—	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	rechts	—	—	4	3	9	5	5	5	4	5	3	3
<i>Katze 3</i>	links	—	—	—	3	3	2	3	3	2	2	1	1
	rechts	—	—	—	3	3	2	3	4	1	1	0	-1
<i>Katze 4</i>	links	1	—	3	3	3	3	4	5	4	—	5	5
	rechts	—	—	3	3	3	3	4	4	3	3	—	3
<i>Katze 5</i>	links	—	—	2	2	3	3	3	3	2	—	3	3
	rechts	0	—	—	3	2	3	3	3	2	—	3	3
<i>Katze 6</i>	links	—	—	—	—	2	2	2	2	2	2	2	1
	rechts	—	—	—	—	1	1	2	2	1	1	1	0
<i>Katze 8</i>	links	—	—	—	4	4	4	4	4	4	4	3	3
	rechts	—	—	—	4	4	4	4	4	4	4	3	3
<i>Katze 9</i>	links	0	—	—	2	2	2	3	3	3	3	3	—
	rechts	0	—	—	3	3	3	3	3	1	—	2	1
<i>Katze 10</i>	links	2	—	2	1	2	1	2	—	3	3	3	2
	rechts	0	—	1	1	1	1	1	1	2	1	0	-1
<i>Katze 11</i>	links	—	—	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
	rechts	—	—	5	4	3	3	4	4	4	3	3	3
<i>Katze 12</i>	links	—	—	2	2	2	—	3	3	2	2	1	1
	rechts	—	—	—	3	3	3	3	3	2	2	1	1
<i>Katze 13</i>	links	—	—	—	4	3	3	3	3	3	—	4	4
	rechts	—	—	—	4	3	3	3	3	3	3	2	—
<i>Katze 14</i>	links	—	—	—	4	4	4	4	4	4	3	3	3
	rechts	3	—	—	6	5	4	4	4	4	4	4	4
<i>Katze 15</i>	links	—	—	—	4	3	3	3	3	3	3	3	3
	rechts	—	—	—	—	3	3	3	—	—	4	4	4

Tab. 9.3 KVI der einzelnen Nerven L7 bis Th9 für die einzelnen Katzen in der Ebene 2 (Faszie) zur Berechnung der KVI_j-F.

	KVI-F	L7	L6	L5	L4	L3	L2	L1	Th13	Th12	Th11	Th10	Th9
<i>Katze 1</i>	links	3	—	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3
	rechts	3	—	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3
<i>Katze 2</i>	links	—	—	4	2	2	3	3	3	4	4	5	5
	rechts	0	—	2	2	7	4	5	4	3	5	3	3
<i>Katze 3</i>	links	—	—	—	2	2	2	2	2	2	2	2	3
	rechts	—	—	—	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Katze 4</i>	links	0	—	1	2	2	2	2	2	2	—	3	2
	rechts	—	—	1	2	1	1	2	2	2	3	—	4
<i>Katze 5</i>	links	—	—	1	2	2	2	2	2	2	—	3	3
	rechts	0	—	—	2	2	2	2	2	2	—	3	3
<i>Katze 6</i>	links	—	—	—	—	1	0	1	1	1	1	1	1
	rechts	—	—	—	—	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Katze 8</i>	links	—	—	—	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	rechts	—	—	—	1	2	2	2	2	3	3	3	3
<i>Katze 9</i>	links	0	—	—	2	2	2	2	2	3	3	3	—
	rechts	0	—	—	2	2	2	2	2	1	—	2	2
<i>Katze 10</i>	links	-1	—	1	1	1	1	1	—	3	3	3	4
	rechts	0	—	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
<i>Katze 11</i>	links	—	—	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	rechts	—	—	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
<i>Katze 12</i>	links	—	—	1	1	1	—	2	2	1	2	2	2
	rechts	—	—	—	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Katze 13</i>	links	—	—	—	2	2	2	2	2	3	—	4	4
	rechts	—	—	—	2	2	2	2	2	3	3	3	—
<i>Katze 14</i>	links	—	—	—	2	2	2	2	2	2	3	3	3
	rechts	3	—	—	3	3	3	3	3	3	4	4	4
<i>Katze 15</i>	links	—	—	—	2	2	2	2	2	2	3	3	3
	rechts	—	—	—	—	2	2	2	—	—	3	4	4

Tab. 9.4 KVI der einzelnen Nerven L7 bis Th9 für die einzelnen Katzen in der Ebene 3 (Muskulatur) zur Berechnung der KVI_j-M.

	<i>KVI-M</i>	<i>L7</i>	<i>L6</i>	<i>L5</i>	<i>L4</i>	<i>L3</i>	<i>L2</i>	<i>L1</i>	<i>Th13</i>	<i>Th12</i>	<i>Th11</i>	<i>Th10</i>	<i>Th9</i>
<i>Katze 1</i>	links	3	—	1	1	1	1	1	1	1	0	1	2
	rechts	3	—	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
<i>Katze 2</i>	links	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	rechts	1	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Katze 3</i>	links	—	—	—	1	1	1	0	1	0	0	0	0
	rechts	—	—	—	1	1	1	0	0	0	-1	-1	-1
<i>Katze 4</i>	links	0	—	1	1	1	1	1	1	1	—	1	1
	rechts	—	—	1	1	0	0	1	1	2	2	—	2
<i>Katze 5</i>	links	—	—	1	1	1	1	1	1	0	—	1	1
	rechts	0	—	—	1	1	1	1	1	0	—	1	1
<i>Katze 6</i>	links	—	—	—	—	1	1	0	0	0	-1	-1	-1
	rechts	—	—	—	—	1	1	0	1	1	1	0	0
<i>Katze 8</i>	links	—	—	—	1	1	1	1	0	1	1	1	0
	rechts	—	—	—	1	1	1	1	2	1	1	1	1
<i>Katze 9</i>	links	0	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	—
	rechts	0	—	—	1	1	1	1	1	1	—	1	1
<i>Katze 10</i>	links	0	—	1	1	1	1	1	—	3	3	3	4
	rechts	0	—	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
<i>Katze 11</i>	links	—	—	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	rechts	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Katze 12</i>	links	—	—	0	0	0	—	1	1	1	2	2	2
	rechts	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Katze 13</i>	links	—	—	—	1	1	1	1	1	1	—	2	2
	rechts	—	—	—	1	1	1	1	1	1	—	1	—
<i>Katze 14</i>	links	—	—	—	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	rechts	2	—	—	3	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Katze 15</i>	links	—	—	—	1	1	1	1	1	1	2	2	1
	rechts	—	—	—	—	1	1	1	—	—	3	3	2

9.3.2 Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Spinalnerven (KVI_i)

Tab. 9.5 Minimale und Maximale Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Spinalnerven Th9 bis L7 in Ebene 1 (Haut).

	<i>links</i>		<i>rechts</i>	
	$KVI_{i-H} \text{ Min}$	$KVI_{i-H} \text{ Max}$	$KVI_{i-H} \text{ Min}$	$KVI_{i-H} \text{ Max}$
Th9	1	5	-1	4
Th10	1	5	1	4
Th11	1	4	1	5
Th12	1	4	1	4
Th13	1	5	1	5
L1	1	4	1	5
L2	1	4	1	5
L3	1	4	1	9
L4	1	4	1	6
L5	1	5	1	5
L6	—	—	—	—
L7	0	2	0	3

Tab. 9.6 Minimale und Maximale Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Spinalnerven Th9 bis L7 in Ebene 2 (Faszie).

	<i>Links</i>		<i>rechts</i>	
	$KVI_{i-F} \text{ Min}$	$KVI_{i-F} \text{ Max}$	$KVI_{i-F} \text{ Min}$	$KVI_{i-F} \text{ Max}$
Th9	1	5	1	4
Th10	1	5	1	4
Th11	1	4	1	5
Th12	1	4	1	3
Th13	1	3	1	4
L1	1	3	1	5
L2	0	3	0	4
L3	1	2	1	7
L4	1	2	1	3
L5	1	4	1	2
L6	—	—	—	—
L7	-1	3	0	3

Tab. 9.7 Minimale und Maximale Kaudalverschiebungsindizes der einzelnen Spinalnerven Th9 bis L7 in Ebene 3 (Muskulatur).

	<i>links</i>		<i>rechts</i>	
	<i>KVI_{i-M} Min</i>	<i>KVI_{i-M} Max</i>	<i>KVI_{i-M} Min</i>	<i>KVI_{i-M} Max</i>
Th9	-1	4	-1	2
Th10	-1	3	-1	3
Th11	0	3	-1	3
Th12	0	3	0	2
Th13	0	1	0	2
L1	0	1	0	2
L2	1	2	0	2
L3	0	2	0	2
L4	0	2	0	3
L5	0	2	0	1
L6	—	—	—	—
L7	0	3	0	3

10 Danksagung

Ein besonders großer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Prof. Dr. Mülling, der mir mit seiner Expertise durch die Promotionszeit geholfen hat.

Weiterhin danke ich Frau Dr. Bernigau, da sie mir jederzeit und vor allem zum Abschluss der Arbeit immer zur Seite stand!

Beiden danke ich sehr für ihre Betreuung, ihre konstruktiven Ratschläge und ihre Unterstützung im Zuge des Dissertationsvorhabens! Die schöne Zeit im Veterinär-Anatomischen Institut wird mir für immer in Erinnerung bleiben.

Zudem bedanke ich mich bei allen DoktorandInnen und MitarbeiterInnen des Veterinär-Anatomischen Instituts, die mich in den vergangenen Jahren aktiv, moralisch und mit Keksen unterstützt haben.

Herrn Prof. Dr. Brehm danke ich für die Erlaubnis zur Benutzung des Computertomografen und Frau PD Dr. Gerlach für die Anfertigung der Aufnahmen.

Ein herzliches Dankeschön auch an Herrn Prof. Dr. Pfeffer für die Beratung bei der Auswertung der erhobenen Daten.

Großer Dank gilt zudem Frau Reichenbach für ihre Geduld und die Standhaftigkeit bei allen Formatierungsangelegenheiten.

Vor allem danke ich meiner Familie, meinem Freund und meinen Freunden, die so treu an meiner Seite waren!

Noch einmal „Vielen Dank!“ an alle, die diese Dissertation möglich machten!